

**QUANTITATIVE UND QUALITATIVE CORPORALE,
KARDIOZIRKULATORISCHE, KARDIORESPIRATORISCHE
UND METABOLISCHE REAKTIONEN VON MÄNNERN BEI/NACH
ERSCHÖPFENDEN SPIROERGOMETRIEN IN ABHÄNGIGKEIT
VOM TRAININGSZUSTAND, DER SPORTART SOWIE
UNTERSCHIEDLICHEN BELASTUNGSMETHODEN**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Philosophie (Dr. phil.) des Fachbereichs 06

Psychologie und Sportwissenschaft

der Justus - Liebig - Universität Gießen

Vorgelegt von

Yaser Mahfouz Atwa Saad ELGOHARI

aus

Zagazig - Ägypten

Gießen 2003

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. phil. Joachim Stiensmeier-Pelster
1. Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki
2. Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. phil. Hannes Neumann
Tag der Disputation:	03.11.2003

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
2.	HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER SPIROERGOMETRIE	11
3.	METHODIK	73
3.1	Untersuchungsgut	73
3.1.1	Trainingszustand	75
3.1.2	Sportart	76
3.1.3	Belastungsmethoden	77
3.1.3.1	1 Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI	77
3.1.3.2	0,5 W/kg KG-Methode nach NOWACKI	79
3.1.3.3	Belastungsmethode nach HOLLMANN	80
3.1.3.4	Standard-Belastungsmethode für den Leistungssport in der Bundesrepublik Deutschland, Bundesausschuss für Leistungssport	81
3.1.3.5	Belastungsmethode nach KNIPPING	82
3.1.4	Höhentraining	83
3.1.5	Gruppe Athleten 2002	85
3.2	Untersuchungsbedingungen	86
3.2.1	Klinisch-sportmedizinische Untersuchung	88
3.2.2	Sportmedizinische Leistungsdiagnostik - Vita-maxima-Methoden	90
3.2.2.1	Fahrradspiroergometrie	91
3.2.3	Messgrößen und Messmethoden	98
3.2.3.1	Körperliche Leistungsfähigkeit	98
3.2.3.1.1	Gesamtarbeit in Wattminuten	98
3.2.3.1.2	Maximale absolute Wattstufe	99
3.2.3.1.3	Maximale relative Wattstufe	99
3.2.3.1.4	Belastungszeiten	100
3.2.3.1.5	Physical Working Capacity – PWC ₁₇₀	102
3.2.3.2	Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit	102
3.2.3.2.1	Herzschlagfrequenz	102

2.2.3.2.2	Blutdruck.....	105
3.2.3.3	Respiratorische Leistungsfähigkeit.....	106
3.2.3.3.1	Atemminutenvolumen, Atemzugvolumen, Atemfrequenz.....	106
3.2.3.3.2	Gesamt- und Mehr-Atmung in der Leistungs- und Erholungsphase.....	106
3.2.3.4	Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit.....	108
3.2.3.4.1	Absolute Sauerstoffaufnahme.....	108
3.2.3.4.2	Relative Sauerstoffaufnahme.....	109
3.2.3.4.3	Sauerstoffpuls.....	109
3.2.3.4.4	Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungs- und Erholungsphase.....	110
3.2.3.4.5	Gesamtsauerstoffschuld.....	110
3.2.3.4.6	Absolute Kohlendioxidabgabe.....	111
3.2.3.4.7	Gesamt- und Mehrkohlendioxidausscheidung in der Leistungs- und Erholungsphase.....	112
3.2.3.5	Metabolische Leistungsfähigkeit.....	112
3.3	Statistik.....	114
3.4	Kritik der Methodik.....	117
4.	ERGEBNISSE	120
4.1	Funktionsdiagnostik der körperlichen Leistungsfähigkeit.....	120
4.1.1	Gesamtarbeit in Wattminuten.....	120
4.1.2	Maximale absolute Wattstufe.....	130
4.1.3	Maximale relative Wattstufe.....	138
4.1.4	Belastungszeiten.....	146
4.1.5	Physical Working Capacity – PWC ₁₇₀	154
4.2	Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen.....	163
4.2.1	Herzschlagfrequenz.....	163
4.2.2	Blutdruck.....	174
4.3	Respiratorische Leistungsfähigkeit.....	180
4.3.1	Maximales Atemminutenvolumen.....	180
4.3.2	Gesamt- und Mehrventilation.....	188

4.4	Kardiorespiratorische Funktionsgrößen	209
4.4.1	Maximale Sauerstoffaufnahme	209
4.4.2	Maximale relative Sauerstoffaufnahme	217
4.4.3	Maximaler Sauerstoffpuls	225
4.4.4	Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme	233
4.4.5	Gesamtsauerstoffschuld	248
4.4.6	Gesamt- und Mehrkohlendioxidausscheidung	257
4.5	Metabolische Leistungsfähigkeit	273
5.	DISKUSSION	283
5.1	Funktionsdiagnostik der körperlichen Leistungsfähigkeit	283
5.2	Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen	297
5.3	Respiratorische Leistungsfähigkeit	305
5.4	Kardiorespiratorische Funktionsgrößen	311
5.5	Metabolische Leistungsfähigkeit	332
6.	ZUSAMMENFASSUNG	334
7.	LITERATURVERZEICHNIS	345
8.	ANHANG	391
	Lebenslauf	392
	Danksagung	393
	Erklärung	394

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Zu den wichtigsten Tätigkeitsbereichen der Sportmedizin gehört die Untersuchung der Sportlerinnen und Sportler auf ihre **körperliche, kardiozirkulatorische, kardiorespiratorische und metabolische Leistungsfähigkeit** als Grundlage für ihren **Gesundheitszustand**, ihre **sportartspezifische Belastbarkeit** und die darauf basierenden **Trainingsempfehlungen** bei den verschiedenen Sportarten in Absprache mit den Trainern und betroffenen AthletenInnen (**KINDERMANN, HUBER, KEUL 1975, DE MAREES 1976, NOWACKI 1977, ULMER, SCHNEIDER, KRÄMER 1977, GAISL, BUCHBERGER 1979, HOLLMANN, HETTINGER 1990**).

Vor allem im Bereich des **Kindes- und Jugendwettkampfsports** ist in letzter Zeit ein immer stärkeres Anwachsen des Leistungsvermögens zu erkennen (**DITTER, NOWACKI, SIMAI, SIEGFRIED 1977, MÄURER 1977, NOWACKI 1977, KEUL, KINDERMANN, SIMON 1978, PROKOP 1979, NOWACKI, ROSENTHAL, VÖLPEL 1980, BROCKMANN 1984, KLIMT 1984, MATZDORFF 1984, REIFSCHNEIDER 1984, PROKOP 1986, NOWACKI P.E., SCHULZE, NOWACKI N.S. 1991, KELLER-KREUZER 1993, KIM 1994, NOWACKI N.S. 1998, MOHAMMED M.F. 1999, APPEL, WU, ELGOHARI, NOWACKI 2001, KIM, ELGOHARI, NOWACKI N.S., WU, NOWACKI P.E. 2001, SAWELLION 2001, TINIAKOS 2002**).

Als **Ursache** dafür ist anzusehen, dass Kinder und Jugendliche immer früher mit einem sportlichen Training bzw. dem Leistungssport beginnen, um später im **Wettkampfalter** dem **internationalen Leistungsniveau** gerecht zu werden (**HOLLMANN, BOUCHARD, HERKENRATH 1965, ROST 1981, PROKOP 1986, BACHL 1986, MOCELLIN 1988, KELLER, NOWACKI 1994, SCHULZ 1994, BAR-OR 1996**).

Da bis heute keine gesicherten Erkenntnisse und Übereinstimmungen darüber bestehen, wie groß der **Belastungsumfang** und wie hoch die **Belastungsintensität** im Training sein müssen, um die **ökonomischen Anpassungserscheinungen** zu erreichen (**RIECKERT, HINNEBERG, SCHNIZER 1976, WASMUND, NOWACKI 1978, PROKOP 1979**), ist **die Gefahr der Überbelastung** in Sportarten, bei denen sehr früh mit dem Training begonnen werden muss, um international wettbewerbsfähig zu sein, sehr hoch (**SOMMER 1984, COTTA, SOMMER 1986**).

Konditionelle Fähigkeiten, **technische** und **taktische** Fertigkeiten sowie **psychische** Faktoren beeinflussen die sportliche Leistungsfähigkeit (**JONATH**, **KREMPEL** 1981, **NEUMANN** 1990, **COEN B.**, **URHAUSEN**, **COEN G.**, **KINDERMANN** 1998).

Um die sportartspezifischen technischen Fähigkeiten im **Training** und **Wettkampf** einsetzen zu können, müssen **Mindestvoraussetzungen** der **körperlichen**, **kardiozirkulatorischen**, **kardiorespiratorischen** und **metabolischen** Leistungsfähigkeit beim Sportler erfüllt sein (**HOLLMANN** u. Mitarb. 1962, **BACHL**, **PROKOP** 1977, **SCHNABEL** u. Mitarb. 1981, **LIESEN** 1983, **NOWACKI** u. Mitarb. 1984, **KINDERMANN** u. Mitarb. 1993, **SCHULZ** 1994, **EWALD** 1998, **BEHNEN** 1998, **NOWACKI** u. Mitarb. 1999).

Seit der Einführung der **Spiroergometrie** Ende der Zwanzigerjahre durch **KNIPPING** 1925, 1926, 1927, 1928, 1938 und die methodische Verbesserung derselben durch **BRAUER**, **WOLF** 1940 verfügt die Sportmedizin im Bereich der **Leistungsdiagnostik** über experimentelle Belastungsmethoden, die **objektive Überprüfungen** der **körperlichen** und **kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit** der Athleten ermöglichen (**DITTER** u. Mitarb. 1976, 1977, **NOWACKI** 1977, **BRINGMANN** 1980, **NOWACKI** 1980, **BURGER** u. Mitarb. 1987).

Der entscheidende Schritt bei den **spiroergometrischen Untersuchungen** ist die direkte Messung der **Atmung**, **Sauerstoffaufnahme** und **Kohlendioxydausscheidung** auf allen Belastungsstufen bis zur Erschöpfung.

Die **Sauerstoffaufnahme** ist eine integrale Größe aller den Sauerstoff aufnehmenden, transportierenden und verwertenden Zellen und Funktionssysteme (**REIN** 1949, **ÅSTRAND**, **RODAHL** 1970, **NOWACKI** 1977, **SCHMIDT**, **THEWS** 1995, **McARDLE**, **F. KATCH**, **V. KATCH** 1996).

Bei der spiroergometrischen Leistungsüberprüfung wird die Bestimmung der **absoluten** und **relativen maximalen Sauerstoffaufnahme** zum entscheidenden und bedeutsamsten Kriterium für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Athleten aus sportmedizinischer Sicht (**MELLEROWICZ** 1979, **NOWACKI** 1981, **ÅSTRAND** 1986, **HOLLMANN** 1986, **KINDERMANN** 1987, **DIRIX** 1989).

Sportliche Leistungen erfordern eine **erhöhte Sauerstoffaufnahmefähigkeit** des Organismus. Besonders die Leistungsfähigkeit in den **Ausdauersportarten** ist maßgeblich von der Menge des Sauerstoffes abhängig, die pro Zeiteinheit über **die Lungen, das Herz-Kreislaufsystem** und das **Sauerstofftransportsystem Blut** zur **Arbeitsmuskulatur** gelangt. Hier schöpft der Trainierte mit einer höheren **arterio-venösen Differenz** ($avDO_2$) mehr Sauerstoff aus dem Blut, da seine Muskulatur im Vergleich zum Untrainierten besser kapillarisiert ist (**MELLEROWICZ** 1956, **ÅSTRAND, SALTIN** 1961, **JOKL** 1968, 1971, **KNUTTGEN** 1971, **GUYTON, JONES, COLEMAN** 1973, **DIRIX** 1989, **HOLLMANN** 1990, **TITTEL** 2000).

In Verbindung mit der **Wiederherstellung** des Muskelstoffwechsels nach einer erschöpfenden spiroergometrischen Belastung, d. h. mit dem **Aufbau** der **Phosphatvorräte** im Muskel, mit der Normalisierung der **Blut- und Zellgas-Konzentrationen**, des **Myoglobin-Wiederaufbaus**, der Resynthese der **Glykogenvorräte** und dem Abtransport von **Milchsäure** aus dem Blut und den Muskeln, wird auch der Abbau der eingegangenen **Sauerstoffschuld** bedeutsam (**AHONEN, LAHTINEN, POGLIANI, WIRHED** 1999).

Die Bestimmung der maximalen **aeroben** und **anaeroben Kapazitäten** bei Spitzenathleten gehört nach wie vor zu den wichtigsten Aufgaben der Sportmedizin (**NOWACKI** 1981).

Dabei dominierte jahrzehntelang in der sportmedizinischen Literatur die **Definition HOLLMANNs**, wonach die “ *Maximale Sauerstoffaufnahme das Bruttokriterium der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit ist* “ (**HOLLMANN** 1965).

Die $\dot{V}O_2 \max$ wurde dann mit der aeroben Kapazität eines Sportlers gleichgesetzt.

Völlig zu Recht widersprach **NOWACKI** 1971, 1984 nachdrücklich dieser “ Lehrmeinung “ und wies darauf hin, dass die *maximale Sauerstoffaufnahme* nur unter dem Einsatz der maximalen anaeroben Reserven registriert werden kann, also wenn die aeroben Bedingungen bei einer erschöpfenden Spiroergometrie schon über mehrere Minuten überschritten wurden. Somit ist nach der **Definition** von **NOWACKI**: “ *Die maximale absolute / relative Sauerstoffaufnahme der integrale Wert der aeroben u n d anaeroben Kapazität* “.

Eine **Differenzierung** dieser **beiden Anteile** der $\dot{V}O_2 \max$, welche auch ein **Hauptanliegen meiner Untersuchung** darstellt, ist also nur durch die gleichzeitige Bestimmung der **Laktatleistungskurve** bei der Spiroergometrie mit der Erfassung des **aerob / anaeroben** Übergangs möglich (**MADER** u. Mitarb.1976, **NOWACKI** 1981, **HECK** 1990).

Die Erfassung der **qualitativen maximalen biologischen Leistungsdaten** eines Athleten durch eine erschöpfende Spiroergometrie gehört heute zum Standard der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik im Labor (**NOWACKI** 1977, **VATER** 1992, **ZHAO** 1995, **HOLLMANN**, **HETTINGER** 2000).

Aus diesen Grunde wurden diese **Basisdaten** in der **vorliegenden Dissertation** vergleichend den einzelnen Fragestellungen vorangestellt.

Sehr wenig bearbeitet und in der einschlägigen sportmedizinischen Literatur auch nur partiell diskutiert wurden bisher die **quantitativen Reaktionen** und **Belastungen** eines Sportlers **während** und **nach erschöpfenden ergometrischen** bzw. **spiroergometrischen Leistungen**. Die Darstellung der **quantitativen Belastungen** des Organismus bei erschöpfenden Spiroergometrien von **Athleten** aus **18 Sportarten** im **Vergleich** zu **untrainierten gesunden Männern** stellt einen **besonderen Schwerpunkt** der **vorgelegten Dissertation** dar. Diesbezügliche **Ergebnisse** wurden in diesen Umfang bisher in der einschlägigen **Literatur** **noch nicht präsentiert**.

Erste Ansätze der **quantitativen Betrachtung kardiorespiratorische Parameter** nach körperlichen / sportlichen Leistungen gehen auf **HILL** zurück, der Mitte der Zwanzigerjahre des 20. Jahrhunderts die Bestimmung der **Sauerstoffschuld** inaugurierte (**HILL**, **LONG**, **LUPTON** 1924).

Dieser Begriff, speziell als “ **maximale Sauerstoffschuld** “, war noch über lange Jahre strittig gewesen (**KEUL**, **DOLL**, **KEPPLER** 1969).

Gerade der Freiburger Sportmedizinische Arbeitskreis von **KEUL** u. Mitarb. 1969 schlug für die Erfassung der **anaeroben Kapazität** blutgasanalytische Methoden mit der **Bestimmung** der **pH-Werte** – **H⁺-Ionen** - Konzentration im arteriellen Blut – und zunehmend dann die Bestimmung der **Laktatwerte** vor.

Bei anderen Autoren (**HELBING**, **NOWACKI** 1966, **SALTIN**, **ÅSTRAND** 1967, **MICHAILOW** 1973, **NÖCKER** 1976, **MELLEROWICZ** 1979, **HOLLMANN**, **HETTINGER** 1980) gilt die Messung der **Sauerstoffschuld** nach wie vor als ein **verlässliches Maß** zur Bestimmung der **anaeroben Kapazität** eines Athleten.

Allerdings waren die Methoden zur Erfassung der **Sauerstoffschuld** in der **Nachbelastungsphase** sehr unterschiedlich, so dass Vergleiche zwischen den einzelnen Instituten praktisch nicht möglich waren.

Deshalb hat **NOWACKI** eine **Methode** zur **exakten Bestimmung** und **einheitlichen Berechnung** der **maximalen Sauerstoffschuld** im Berliner Institut (Sportmedizinische Hauptberatungsstelle von West-Berlin in Berlin-Wilmersdorf, Leiter: PD Dr. med. Harald Mellerowicz) von 1959- 1962 entwickelt und ausgearbeitet.

Die Vorstellung dieser Methode zur Bestimmung der **O₂-Schuld** auf dem XVI. FIMS-Weltkongress 1966 in Hannover verhalf diesem Parameter zur weiteren internationalen Anerkennung (**HELBING**, **NOWACKI** 1966).

Danach wurde die Messung und Berechnung der **maximalen Sauerstoffschuld**, welche in der **Erholungsphase** eine **Zeit** von **30 bis 45 Minuten** beanspruchen kann (**NOWACKI** 1980), als **Maß** zur Bestimmung der **anaeroben Kapazität** akzeptiert.

Die Differenz zwischen **Sauerstoffbedarf** und **Sauerstoffaufnahme** während einer erschöpfenden Muskelarbeit wird als **Sauerstoffschuld** in der anschließenden **Erholungsphase** über einen Zeitraum von mindestens **30-40 Minuten** abgegolten.

Die Sauerstoffschuld darf dabei nicht mit dem Sauerstoff-Defizit verwechselt werden. Von einem **Sauerstoff-Defizit** sollte man nur in der **Anfangsphase** einer **Steady-state-Arbeit** sprechen.

Dieses Defizit vor Eintritt der **Steady-state-Sauerstoffaufnahme** wird in einer wesentlich kürzeren Erholungsphase exakt abgegolten.

Wegen des großen Zeitaufwandes bei der Bestimmung der **maximalen Sauerstoffschuld** als *“Summe der Sauerstoffmehraufnahme in der Erholungsphase bis zum Erreichen des Sauerstoffwertes in der Vorstartphase in 1 STPD“* (NOWACKI 1981), haben NOWACKI, FANDREY 1978 eine in der Praxis bewährte Methode zur Bestimmung der **Gesamtsauerstoffschuld** aus den Werten der **5- oder 10-Minuten - Sauerstoffschuld** beschrieben.

Danach werden in **5 Minuten 55-60 %** und in **10 Minuten 70-75 %** der **Gesamtsauerstoffschuld** abgegolten, so dass sich nach der exakten Bestimmung der **O₂-Mehraufnahme** in einer kürzeren **Erholungsphase** die **Gesamt-O₂-Schuld** mit einer relativ hohen Exaktheit berechnen lässt.

Größere **Übereinstimmung** bei der Ermittlung sowie bei der Wertung wurde dagegen in der sportmedizinischen Literatur über der von **E. A. MÜLLER** 1961 vor allem bei arbeitsmedizinischen Untersuchungen ermittelte **Leistungs- und Erholungspulssumme** erzielt.

Im Rahmen meiner Dissertation habe ich deshalb diesen exakt zu bestimmenden **kardiozirkulatorischen Parameter** den Vorzug vor den sonst üblichen Größen der Herzfrequenz in Ruhe, bei submaximale Belastung (4. Minute bei 2 W/kg KG), im Maximalbereich, sowie nach 5. Minuten Erholung eingeräumt.

Bei den **spiroergometrischen Untersuchungen** werden verschiedene **Belastungsmethoden** angewandt, die sich national bzw. international unterschiedlich durchsetzen konnten (KNIPPING 1938, HOLLMANN 1961, MELLEROWICZ 1961, GADERMANN 1968, NOWACKI 1971, KINDERMANN 1977, HÜLLEMANN 1983, CLASING 1986, PU 1988, ZHAO 1995).

Eine **exakte Dosierbarkeit** und **präzise Reproduzierbarkeit** einer **Belastung im Labor**, die zuverlässig ist, wurde aber erst durch die Entwicklung der Spiroergometrie von **BRAUER** und **KNIPPING** 1929 ermöglicht. Damit zog die Leistungsdiagnostik in die Klinik ein. Speziell **KNIPPING** und seine Schule in Köln, **REINDELL** und Mitarbeiter in Freiburg und **MELLEROWICZ** mit seinem Berliner Arbeitskreis bauten diese Form der **Leistungsdiagnostik** in den 50-iger und 60-iger Jahren weiter aus (**HOLLMANN** 1990).

Die Knippingsche Schule (**VALENTIN, VENRATH, BOLT, HOLLMANN, ROST** u.a.) bediente sich zunächst bei diesen so genannten **Vita-maxima-Untersuchungen** einer weit ausholenden **Drehkurbelarbeit** unter Atmung von reinem Sauerstoff.

1954 führte **HOLLMANN** die **Fahrradergometriebelastung** im Sitzen unter Atmung von atmosphärischer Luft, allerdings noch in **geschlossenen Systemen** unter Verwendung des “ **Knipping-Spirographen** “, in die Kölner Schule ein (**HOLLMANN** 1965).

Mit der Veröffentlichung dieser Untersuchungen in seiner grundlegenden Monographie “ **Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers** “ begründete **HOLLMANN** 1963 die ‘**Moderne sportmedizinische Leistungsdiagnostik**’ in der Bundesrepublik Deutschland.

Mit der Methode nach **HOLLMANN** wurden an der Deutschen Sporthochschule in Köln wohl im nationalen Vergleich die meisten Untersuchungen als Fahrradspiroergometrien im Sitzen durchgeführt (**HOLLMANN** 1990).

Zu den sehr häufig angewandten **standardisierten Belastungsmethoden** der Spiroergometrie zählen das Ergometrieprotokoll des Bundesausschusses für Leistungssport in der Bundesrepublik Deutschland (**BAL**), welches auf den Methoden von **MELLEROWICZ** und seiner Schüler beruht (**MELLEROWICZ** 1983).

So war es vor allem **NOWACKI**, der sich Ende der 60-iger und Anfang der 70-iger Jahre bei der “**Einführung des neuen sportmedizinischen Untersuchungssystems**“ für standardisierte, einheitliche spiroergometrische Untersuchungsverfahren an den “**Lizenzierten Sportmedizinischen Untersuchungszentren**“ einsetzte (**BARON** u. Mitarb 1971).

Ab 1971 versuchte **NOWACKI** im Rahmen des “ **Neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport in der Bundesrepublik Deutschland** “ die Spiroergometrie einheitlich auf die **offene pneumotachographische** Methode umzustellen und ein bundesweit praktikables Belastungsverfahren für den Leistungssport durchzusetzen (**NOWACKI** 1971, 1975, 1984).

Schon 1959 hatte **NOWACKI** als Medizinstudent und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Berliner Institut von **MELLEROWICZ** einen **spiroergometrischen Meßplatz** im **offnen System** aufgebaut und erfolgreich bei der erschöpfenden spiroergometrischen Ausbelastung von Sportlern als **Drehkurbelarbeit** im **Stehen**, sowie **Fußkurbelarbeit** im **Sitzen** und **Liegen** einsetzen können (**MELLEROWICZ, NOWACKI** 1961).

Später führte **NOWACKI** die **1 Watt/kg KG** - und **0,5 Watt/kg KG** - Methode in die routinemäßige **Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit** mittels der erschöpfenden Fahrradergometrie im Sitzen ein. Bei einer Stufendauer von **2 Minuten** ist im **Leistungssport** die Grundbelastung und die einzelne Stufe **1 Watt/kg KG**, im **Breiten- und Freizeitsport** **0,5 Watt/kg KG** und im Bereich der **kardialen Diagnostik** und **Rehabilitation** haben sich der Beginn und Belastungsstufen von **0,25 Watt/kg KG** bewährt (**NOWACKI** 1975, 1977, 1987, 1992, 1993, 1994, 1997, 1999, 2001, 2002).

Weiter hat sich die körperrgewichtbezogene Belastung für Längsschnittuntersuchungen bei Kindern und Jugendlichen durchgesetzt, da sich die Ergebnisse trotz Veränderung der Körperproportionen und anthropometrischen Parameter gut vergleichen lassen (**NOWACKI** 1971, 1975, 1978, **MEDAU** 1988, **KIM** 1994).

Die Anwendung einer einheitlichen spiroergometrischen Belastungsmethode an den Sportmedizinischen Instituten / Untersuchungszentren Deutschlands blieb auch nach der **Wiedervereinigung** der Bundesrepublik Deutschland (BRD) mit der Deutschen Demokratischen Republik (DDR) nach dem **3. Oktober 1990** eine “ **Utopie** “.

Dagegen hat sich die von **NOWACKI** empfohlene **Umrechnung** der **maximal** geleisteten **absoluten Wattstufe** auf die **maximale relative Wattstufe** (**W/kg KG**) national und international durchgesetzt und bewährt.

Die erwähnten fahrradergometrischen Belastungsmethoden nach **HOLLMANN**, **KNIPPING**, **MELLEROWICZ** (**BAL**-Verfahren) und nach **NOWACKI** berücksichtigen alle die **Standardisierungsvorschläge** des *International Committee for the Standardization of Physical Fitness Tests* (**ICSPE**), wie sie auf dem **16. Weltkongress für Sportmedizin** am **14. 06. 1966** in Hannover vereinbart wurden (**MELLEROWICZ** 1979).

Die Belastung wird bei allen Verfahren stufenweise durchgeführt. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Belastungsverfahren sind die **differenten Anfangswerte** der Belastung in **Watt**, die **Höhe der Wattstufen** und die **Dauer** der einzelnen **Leistungsstufen** bis zum Erreichen des Erschöpfungspunktes.

Wegen der nach wie vor grundsätzlichen Bedeutung der Einführung eines international vergleichbaren **spiroergometrischen Belastungsverfahrens** wurden von mir die **5 Hauptverfahren – HOLLMANN-Verfahren, KNIPPING-Verfahren, BAL-Verfahren, 1,0- und 0,5 W/kg KG- Methoden –** für **sehr gut trainierte Athleten** verglichen.

Für das am *Lehrstuhl für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen* seit 1973 praktizierte **Hauptverfahren** nach der **1 W/kg KG-Methode** wurden von mir zusätzlich noch einmal die **maximalen biologischen Leistungsparameter** von **untrainierten Männern** im **Vergleich** zu **verschieden hoch trainierten Athleten** analysiert.

Auf der **1 W/kg KG-Methode** beruht dann auch der **Vergleich maximaler körperlicher und kardiorespiratorischer Leistungsgrößen** von **227 Athleten** aus **18 Sportarten**.

Als ein nach wie vor für den **Hochleistungssport** bedeutsames **trainingswissenschaftliches Problem** kann die Frage der **Leistungsverbesserung** von hochtrainierten Athleten nach einem **Höhentraining** eingestuft werden, zumal der Heidelberger Arbeitskreis von **WEICKER** u. Mitarb 2000 dies nicht überzeugend bejahen konnte. Deshalb bin ich noch einmal auf der Grundlage älterer experimenteller Untersuchungen dieser Fragestellung für den **Deutschlandachter** 1970 nachgegangen.

Die Bestimmung der **quantitativen corporalen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen** und **metabolischen Reaktionen** durch die **sportmedizinische Leistungsdiagnostik** mittels einer maximalen Fahrradspiroergometrie im Sitzen gehört heute weltweit zum Standard (**NOWACKI** 1978, **MELLEROWICZ** 1983, **HOLLMANN** 1986).

In der vorliegenden **experimentellen Dissertation** über “ *Quantitative und qualitative corporale, kardiozirkulatorische, kardiorespiratorische und metabolische Reaktionen von Männern bei/nach erschöpfenden Spiroergometrien in Abhängigkeit vom Trainingszustand, der Sportart sowie unterschiedlichen Belastungsmethoden* “ sollen folgende **Fragestellungen** geklärt werden:

1. Wie verhalten sich die quantitativen / qualitativen corporalen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Reaktionen bei / nach erschöpfenden Fahrradspiroergometrien im Sitzen nach der 1 Watt/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten?
2. Gibt es Unterschiede bei den quantitativen / qualitativen corporalen, kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Reaktionen von Männern bei / nach erschöpfenden Fahrradspiroergometrien im Sitzen zwischen den Sportarten, die mit der gleichen 1 Watt/kg KG-Methode erschöpfend ausbelastet wurden?
3. Wie sind die quantitativen / qualitativen corporalen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Reaktionen von sehr gut trainierten Männern bei / nach erschöpfenden Fahrradspiroergometrien im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden: HOLLMANN-Verfahren vs. KNIPPING-Verfahren vs. BAL-Methode vs. 1,0 und 0,5 W/kg KG-Methoden?
4. Welchen Einfluss hat das Höhentraining (Silvretta-Stausee 2045 m) auf die quantitativen / qualitativen corporalen, kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Reaktionen der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei / nach erschöpfenden Fahrradspiroergometrien mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe)?
5. Sind die bei den Fragestellungen 1 - 4 auf der Grundlage früherer Untersuchungen von mir festgestellten Unterschiede bei den quantitativen / qualitativen corporalen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Reaktionen auch mit dem Einsatz des modernsten kardiorespiratorischen Meßplatzes bei sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 – bei / nach erschöpfenden Fahrradspiroergometrien im Sitzen beim Vergleich der 1 W/kg KG-Methode und dem HOLLMANN-Verfahren zu bestätigen?

2. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER SPIROERGOMETRIE

Die **Spiroergometrie** – synonyme Bezeichnungen **Ergospirometrie** und **Ergographie** – ist ein diagnostisches Verfahren, mit dem sich **qualitativ** und **quantitativ** die Reaktion von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel auf muskuläre Arbeit sowie die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit beurteilen lässt.

Inhaltlich setzt sich der **Begriff** der **Spiroergometrie** aus zwei Teilen zusammen: aus der **Ergometrie** und der **Spirometrie**. Mit ergometrischen Untersuchungen lassen sich physische Leistungen exakt dosieren und jederzeit präzise reproduzieren. Die Spirometrie dient der Erfassung des respiratorischen Gasaustauschs und der Atmung unter kontinuierlicher Aufzeichnung (**HOLLMANN, PRINZ 1994**).

Die **ersten Versuche**, während einer **körperlichen Arbeit** den menschlichen **Gasstoffwechsel** zu messen, gehen auf **LAVOISIER** und **SEGUIN** im Jahre 1789 zurück (Abb. 1).

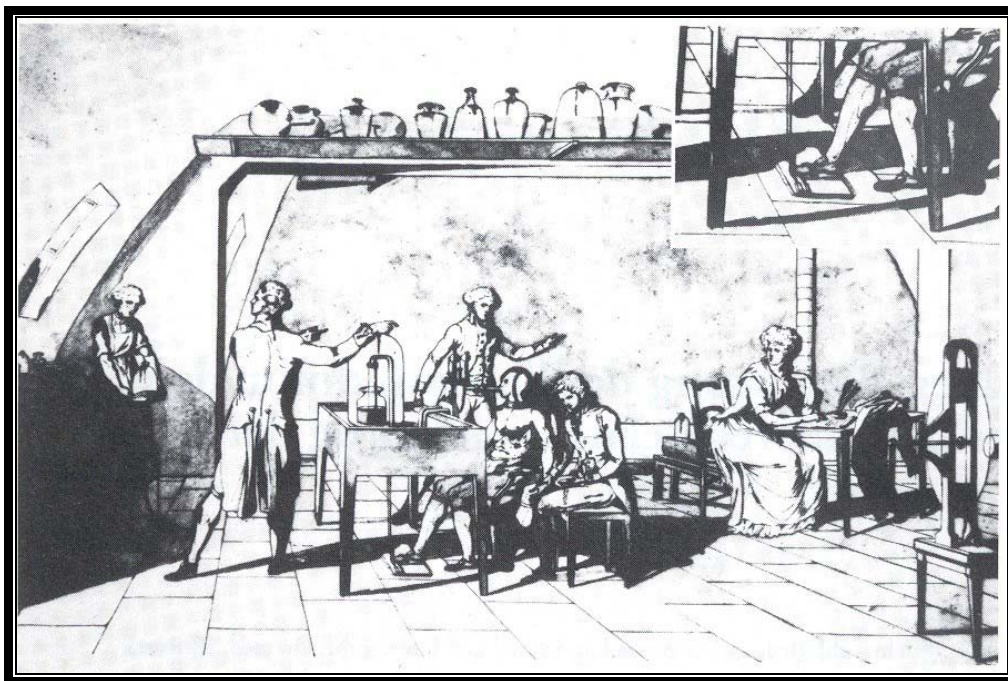


Abb. 1: Der Arbeitsversuch von LAVOISIER und SEGUIN 1789.

Die Illustrationen dieser Experimente zeigen übereinstimmend ein Anschlussverfahren per Gesichtsmaske bei offenbar dosiertem Gewichtheben. Die entstehende Kohlensäure absorbierten die Untersucher mittels Alkalilauge bei eudiometrischer Bestimmung des Sauerstoffgehalts der Atemluft (**GRIMAUX** 1888).

1813 führte der englische Arzt **PROUT** Gasstoffwechseluntersuchungen bei **Fußmärschen** (Gehen) durch. Er erzielte jedoch keine eindeutigen Ergebnisse.

1856 wurde von dem englischen Arzt **SMITH** ein **tragbares Spirometer** entwickelt, mit dem er den **Gasstoffwechsel** beim **Gehen** und bei Belastungen auf einem **Tretrad** untersuchte (**SMITH** 1859).

Eine besonders eigenwillige ‚**Holz-Tretrad-Konstruktion**‘ (Abb. 2) wurde ab 1822 in englischen Strafanstalten zur im Prinzip „sinnlosen“ Beschäftigung von Gefangenen eingesetzt, worauf **CHAPMAN** 1967 in seiner Arbeit über *Edward Smith* (1818-1874) aufmerksam machte.

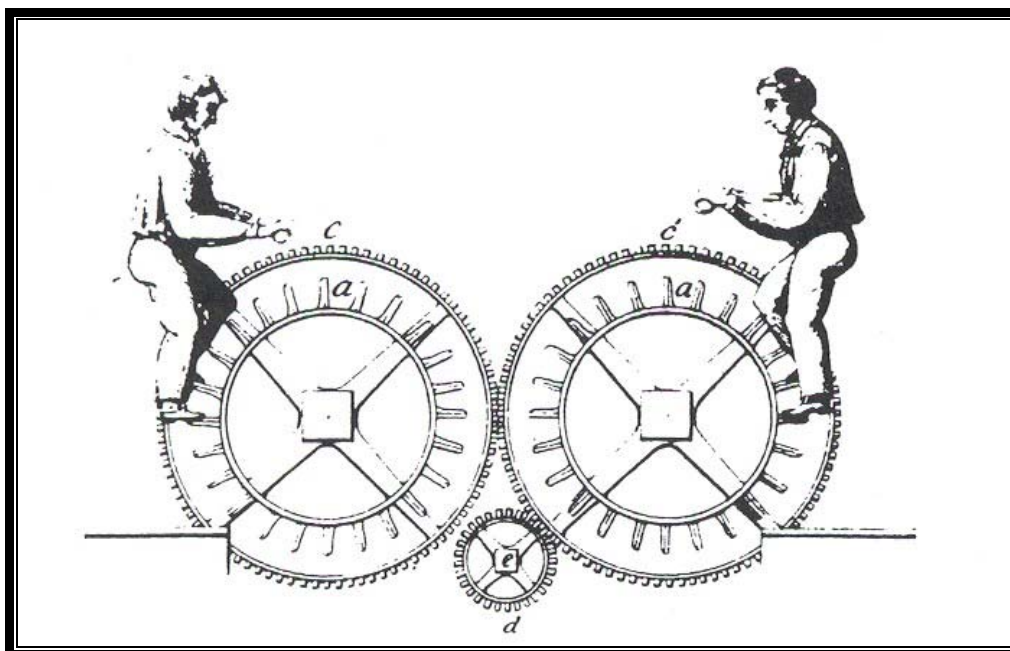


Abb. 2: Tretradarbeit für Strafgefangene in englischen und französischen Gefängnissen um 1860.

In den Jahren 1855 bis 1857 beschäftigte sich der französische Ingenieur **HIRN** mit **Berechnungen** des **mechanischen Wärmeäquivalents**. Er arbeitete hier mit luftdicht abgeschlossenen Kammern. Dies waren wohl die ersten Versuche mit einem Einschlussverfahren. Die Expirationsluft untersuchte der Wissenschaftler auf ihren Gehalt an Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff (**HIRN 1858**).

Über die von **HIRN** benutzte abgeschlossene Kammer existiert keine Abbildung. Wahrscheinlich war sie ein Vorläufer der Respirationskammer, wie sie Anfang des 20. Jahrhunderts für Gaswechseluntersuchungen bei der Fahrradergometerarbeit eingesetzt wurde (Abb. 3).

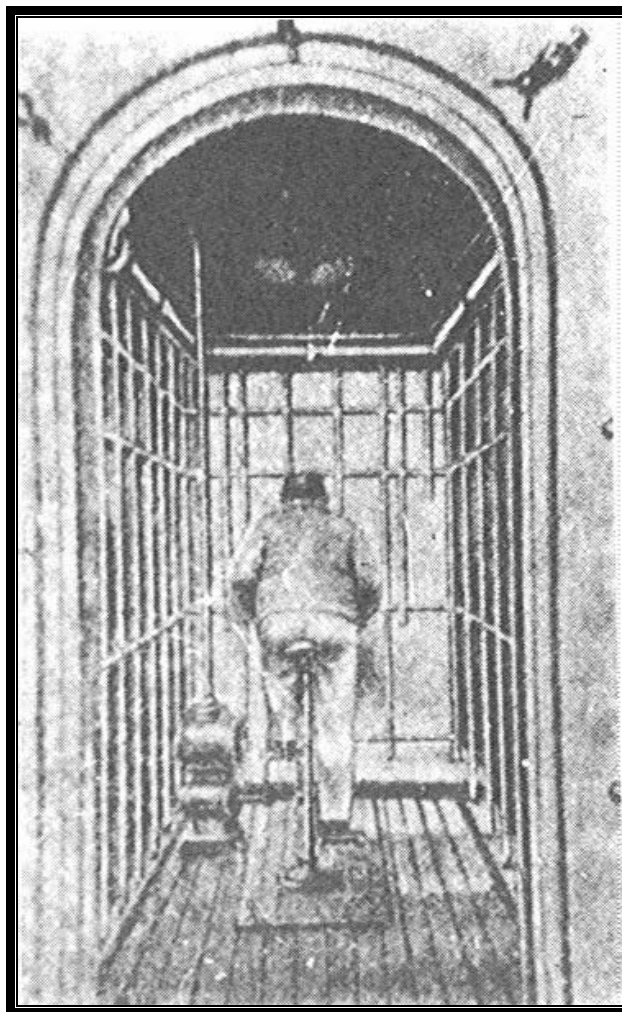


Abb. 3: Respirationskammer Anfang des 20. Jahrhunderts – eingesetzt für Forschungszwecke bei Fahrradergometerarbeit (aus PRINZ 1992).

In einer ähnlichen Respirationskammer führten **PETTENKOFER** und **VOIT** 1866 die ersten Versuche mit einer gebremsten **Drehkurbel** in einer **Respirationskammer** durch.

Im Handbuch der physiologischen Methodik hat **TIGERSTEDT** 1911 diese ersten technischen Anfänge der **frühen Gasstoffwechseluntersuchungen** in seinem Beitrag ‚*Respirationsapparate*‘ zusammengefasst.

Die entscheidende **Voraussetzung** – auch für die von mir vorgelegten maximalen spiroergometrischen Leistungsdaten von untrainierten Männern bis zu Hochleistungssportlern – für die Registrierung der Ventilation, der Sauerstoffaufnahme, der Kohlendioxidausscheidung sowie der davon abhängigen kardiorespiratorischen Quotienten ist die **Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Labor** mit exakt dosierbaren und immer wieder präzise reproduzierbaren Leistungsmessgeräten (**NOWACKI** 1977).

Ergometer **sind Geräte zur Messung der physikalischen Leistung in mkp/s bzw. Watt.**

In der Praxis unterscheidet man **mechanisch gebremste Ergometer, Dynamoergometer** und **Wirbelstromergometer** (Einzelheiten siehe H. **MELLEROWICZ**: *Ergometrie* 1962).

Das **erste Ergometer**, welches sinngemäß den heutigen entspricht, entwickelte **1883** der hessische Arzt **SPECK**. Hier wurde **Drehkurbelarbeit** im **Stehen** verrichtet und die Kurbelreibung konnte durch das Anziehen einer Schraube variiert werden, während der Widerstand durch Gewichte bestimmt wurde, die an die Kurbel angehängt werden konnten. Die Anzahl der Drehungen erkannte man durch einen sich aufwickelnden Bindfaden. In einem **Doppel-Spirometer** sammelte man die **Expirationsluft** und untersuchte sie nach der Belastung auf ihre Zusammensetzung (**SPECK** 1892).

Der Wiener Arzt **GAERTNER** stellte 1887 auf der Grundlage des Speck’schen Ergometers einen mechanisch gebremsten Apparat vor, den „**Ergostat**“ (Abb. 4). Dieses Gerät kann als **Vorläufer der heutigen Ergometer** betrachtet werden. Die Versuchsperson drehte mit einer Handkurbel ein Rad. Gebremst wurde die Apparatur durch einen Hebel, auf dem ein Gewicht angebracht war, welches sich zur Variation der Bremswirkung verschieben ließ. Mit dem Gerät konnte die geleistete Arbeit nach Kilogrammometer gemessen werden.

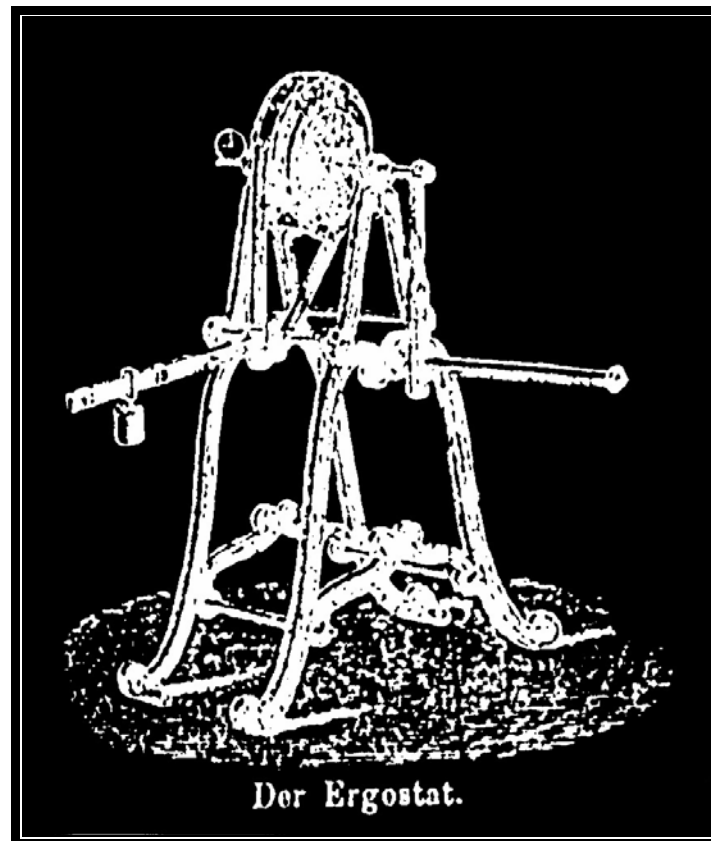


Abb. 4: Das 1883 vom hessischen Arzt SPECK entwickelte erste Ergometer und von GAERTNER 1887 in Serie hergestellte Drehkurbelergometer “ Ergostat “.

Im Jahr 1886 waren es wiederum Franzosen, welche die Entwicklung leistungsmedizinischer Forschungen entscheidend voranbrachten. **HANRIOT** und **RICHET** 1887 machten Arbeitsversuche mit einem gebremsten Drehrad.

Der entscheidende Durchbruch für die zunehmende Expansion experimenteller sportphysiologischer Untersuchungen nach den von *Pièrre de Coubertin* (1863-1937) inaugurierten ‚*Ersten Olympischen Spielen der Neuzeit in Athen 1896*‘ (**COUBERTIN** 2000) gelang dem französischen Medizinstudenten **Elisée BOUNY** 1896 (Abb. 5 a) mit der Entwicklung eines zu wissenschaftlichen Zwecken tauglichen **Fahrradergometers** in Paris (Abb. 5 b). So konnte experimentell-sportmedizinisch gerüstet das durch die Olympischen Spiele der Neuzeit mit ihrem Motto: *Citius – Altius – Fortius* (Schneller – Höher – Stärker) initiierte **größte biologische Experiment** zur Entwicklung einer ständig wachsenden maximalen biologischen Leistungsfähigkeit und immer neuen Sportrekorden der AthletenInnen beginnen (**JOKL**, E. C. P. **JOKL** 1968, **NOWACKI** 1977 , **HOLLMANN** 1981).

Die Kraftmessung erfolgte am Hinterrad des Fahrrads, welches an der Achse des Vorderrades fest aufgebockt wurde, mit einem von **MAREY** 1895 konstruierten Pedaldynamometer (zit. bei **PRINZ** 1993). Damit ließen sich auch – jetzt wieder als Normalfahrrad einzusetzen – Versuche auf der **Pariser Winterradrennbahn** von **BOUNY**, also erste **ergometrische Feldversuche**, durchführen (Abb. 5 c).

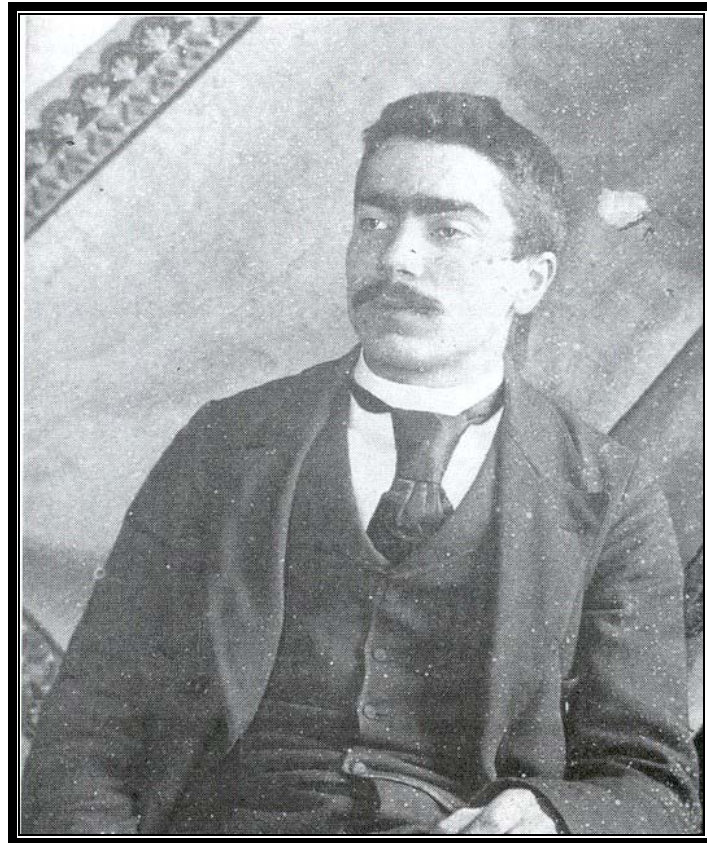


Abb. 5 a: Elisée BOUNY (1872-1900) – Dissertation zum Dr. med. am 20.07.1989 mit dem Thema: ‚Die Physiologie der unteren Extremitäten beim Radfahren‘ vor der Medizinischen Fakultät von Paris verteidigt.

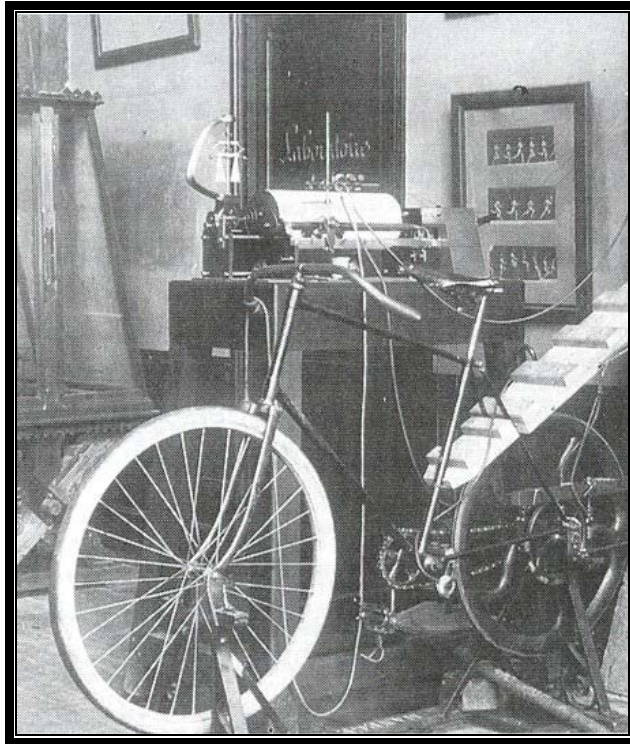


Abb. 5 b: Das erste für sportmedizinische Untersuchungen geeignete Fahrradergometer der Welt nach Bouny 1896 in Paris mit dem von ihm verbesserten Pedaldynamometer des französischen Physiologen Etiënne-Jules Marey am Hinterrad.

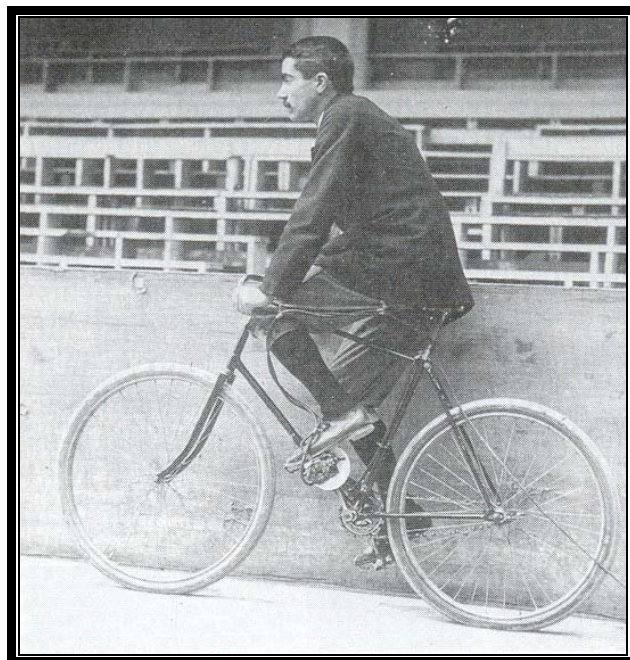


Abb. 5 c: Erste sportmedizinische Feldversuche durch Bouny 1896 auf der Winterradrennbahn des Pariser Marsfelds.

1888 führte **ZUNTZ**, Professor für Physiologie am Tierphysiologischen Institut der Universität Berlin, mit **LEHMANN** erste Gasstoffwechseluntersuchungen mit dem Ergostaten durch (**LEHMANN, MUELLER, MUNK, SENATOR, ZUNTZ** 1893, **GUNGA** 1989).

Weitere Experimente über den Gasstoffwechsel wurden am Berliner Institut von **ZUNTZ** und **KATZENSTEIN** durchgeführt und 1891 publiziert.

Im gleichen Jahr beschrieb **FICK** 1891 ein einfaches, **eichfähiges mechanisch gebremstes Ergometer** (Abb. 6). Eine Versuchsperson drehte ein Metallrad, um das ein Bremsriemen gelegt wurde. Dieser wurde durch einen zweiten Riemen und eine Metallfeder elastisch gehalten. Wurde nun das Rad gedreht, bremsten die beiden Riemen die Drehbewegungen. Die Bremswirkung entspricht nun der Federspannung, welche in Kilopond (kp) gemessen wird.

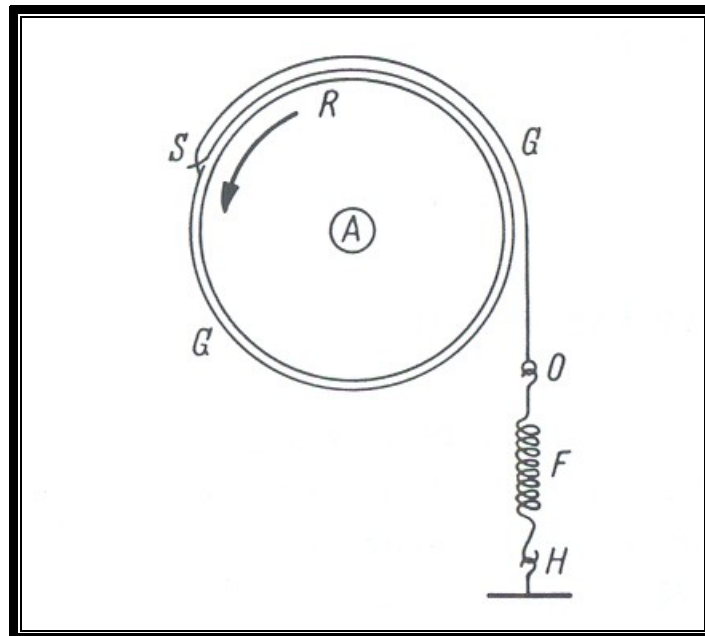


Abb. 6: Ergometer nach FICK 1891.

Eine bahnbrechende Entwicklung für die experimentelle Leistungsdiagnostik gelang dann **ZUNTZ** u. Mitarb. 1889 mit der **Konstruktion** des **ersten Laufbandes** der Welt. Dieses war aber primär nur für die **Untersuchungen** an den **Pferden** der preußischen Kavallerie bestimmt. Da aber die Ergebnisse meiner Dissertation auf der Fahrradspiroergometrie basieren, gehe ich auf die interessanten Fortschritte der Laufbandspiroergometrie nicht weiter ein und verweise auf die diesbezüglich grundlegenden Untersuchungen der Gießener Universitäts-Sportmedizin (**NOWACKI** 1981).

1901 führte **JOHANNSON** Untersuchungen der **Kohlendioxid-Bildung** bei **Muskelarbeit** durch. Er nutzte eine Ergometerkonstruktion, die es erlaubte, Arbeit und Leistung beim Heben, Halten und Senken von Gewichten zu bestimmen.

Die amerikanischen Wissenschaftler **ATWATER** und **BENEDICT** leiteten 1897 eine neue Entwicklung im Bau ergometrischer Apparaturen ein. Sie entwickelten ein Fahrrad-Ergometer, welches durch einen kleinen Dynamo gebremst wurde. Der Dynamo wurde durch das Hinterrad des Ergometers angetrieben und mit einem Ampèremeter bestimmten die Autoren den erzeugten Strom. So führten **ATWATER**, **BENEDICT** 1899 Versuche mit dosierter Arbeit und Untersuchungen des **Gasstoffwechsels am Fahrradergometer** durch (Abb. 7). Hier wurden jedoch die Reibungswiderstände des Fahrrades nicht mit einbezogen. Weiterhin war der Kontakt zwischen Dynamo und Hinterrad bei höheren Geschwindigkeiten nicht mehr zuverlässig. Somit war die genaue Bestimmung der geleisteten Arbeit mit dieser Apparatur noch nicht möglich (**ATWATER**, **BENEDICT** 1899).

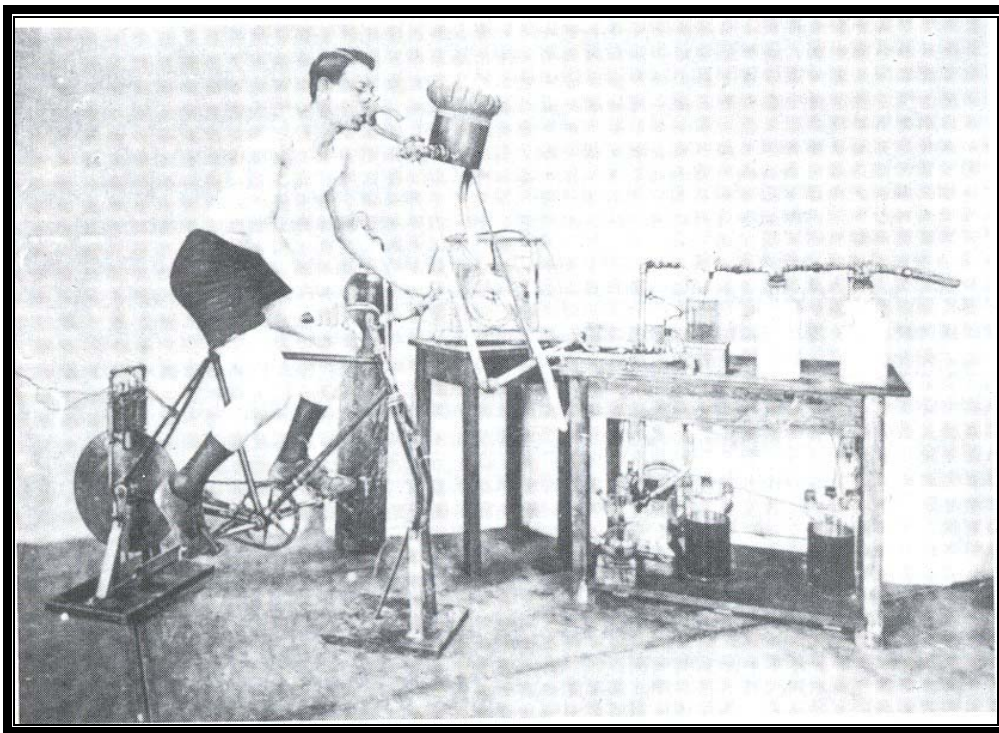


Abb. 7: Fahrradergometrie mit Untersuchung des Gasstoffwechsels nach ATWATER und BENEDICT 1899 in den USA.

BENEDICT, CADY 1912 setzten statt des Hinterrades eine Kupferscheibe ein, welche sich zwischen zwei Polen eines Elektromagneten bewegte. Dies war das erste **Wirbelstromergometer**. Wurde der Erregungsstrom verändert, konnte so die Wirbelstrombremsung der Kupferscheibe ebenfalls verändert werden. Die Drehzahl wurde durch einen Drehzähler registriert. Durch Änderungen der Drehzahl und des Bremsstromes war es nun möglich, eine bestimmte Leistungsgröße einzustellen.

Weitere Entwicklungen mechanisch gebremster Fahrradergometer stellten 1911 **CASPARI** und **ZUNTZ** vor.

Eine entscheidende Verbesserung ihres Fahrradergometers gelang dieser amerikanischen Arbeitsgruppe dann 1912 mit dem Einbau der **ersten elektromagnetischen Bremsen** (Permanentmagnet, zit. bei **HOLLMANN** 2002), die im Sportmedizinischen Laboratorium bei der **Ersten Internationalen Hygiene-Ausstellung 1911 in Dresden** eingesetzt wurden (**HOLLMANN** 2002).

Die erstmalige Vorstellung des **Douglassacks** erfolgte durch seinen gleichnamigen Entwickler, den schottischen Physiologen **DOUGLAS** 1911. Mit diesem luftdichten Sack, der 100 bis 200 Liter fasst (Abb. 8 a) konnte der Weg der Ausatemungsluft einer Versuchsperson bei Muskelarbeit so geleitet werden, dass über mehrere hintereinandergeschaltete Säcke die Atemluft in genau kontrollierten Zeitabständen gesammelt werden konnte. Der Inhalt des Sackes wird durch Entleerung über eine **Gasuhr** gemessen. Vorher wird aus einer kleinen Seitenröhre eine Luftprobe zur **chemischen Analyse** des **O₂-** und **CO₂-Gehaltes** mit den Apparaten zur Gasanalyse nach **HALDANE** oder nach **SCHOLANDER** entnommen (zit. bei **MELLEROWICZ** 1962).

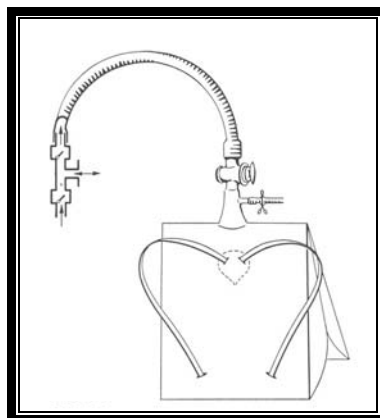


Abb. 8 a: „Sackmethode“ nach **DOUGLAS** 1911.

Unter Verwendung der Douglas-„Sackmethode“ stellte **HERBST** 1928 Versuche an, bei denen er die Sauerstoffaufnahme unter leichter, mittlerer und schwerer Ergometerbelastung bei gesunden und kranken Personen ermittelte.

Auch E. A. **MÜLLER** 1930 beteiligte sich an der Verbesserung und Vereinfachung der Respirationsuntersuchungen nach **DOUGLAS-HALDANE**, vor allem durch ein verbessertes Hahnmodell für den Abschluss der Atemsäcke.

Die Douglas-„Sackmethode“ hat sich in den USA und in den skandinavischen Ländern noch bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts gehalten und wertvolle Ergebnisse über das Verhalten der Atmung und des Gasstoffwechsels bei Arbeitsversuchen im Labor (Abb. 8 b) sowie bei sportmedizinischen Feldversuchen (Abb. 8 c) geliefert (**ÅSTRAND, RODAHL** 1970).



Abb. 8 b: Einsatz des Douglas-Sackes zur Messung der Sauerstoffaufnahme bei ansteigender Belastung auf dem mechanisch gebremsten Åstrand-Ergometer im Stockholmer Sportmedizinischen Labor des Swedish College of Physical Education durch Prof. Per-Olaf Åstrand, M.D.



Abb. 8 c: Einsatz der „Douglas-Sackmethode“ im Feldversuch bei einem schwedischen Skilangläufer (ÅSTRAND, RODAHL 1970).

KROGH von der Universität Kopenhagen gab 1913 eine Beschreibung für ein neues Fahrradergometer sowie Spirometer heraus. Auch machte er aus der Apparatur **BENEDICTS** ein eichbares Ergometer.

Dazu ordnete er die Elektromagneten frei drehbar um die Achse der Kupferscheibe an. Wurde nun die Kupferscheibe bewegt, bewegten sich die Elektromagneten in der Drehrichtung mit. Durch entsprechende Gegengewichte (welche das Mitgehen der Elektromagneten verhinderten) wurde der Kraft der Mitbewegung entgegengewirkt. Aber auch hier blieben einige Faktoren unberücksichtigt, so etwa die Reibungsverluste an der Kurbel, den Übersetzungen und der Scheibenachse. Ebenso konnten sich Schwankungen des Netzstromes durch Veränderungen der Bremsleistung störend auswirken. Wenn diese Faktoren berücksichtigt und die Wirkungsgradverluste mit berechnet werden, können mit dem **Krogh'schen** Ergometer (Abb. 9) sehr genaue Leistungsmessungen vorgenommen werden.

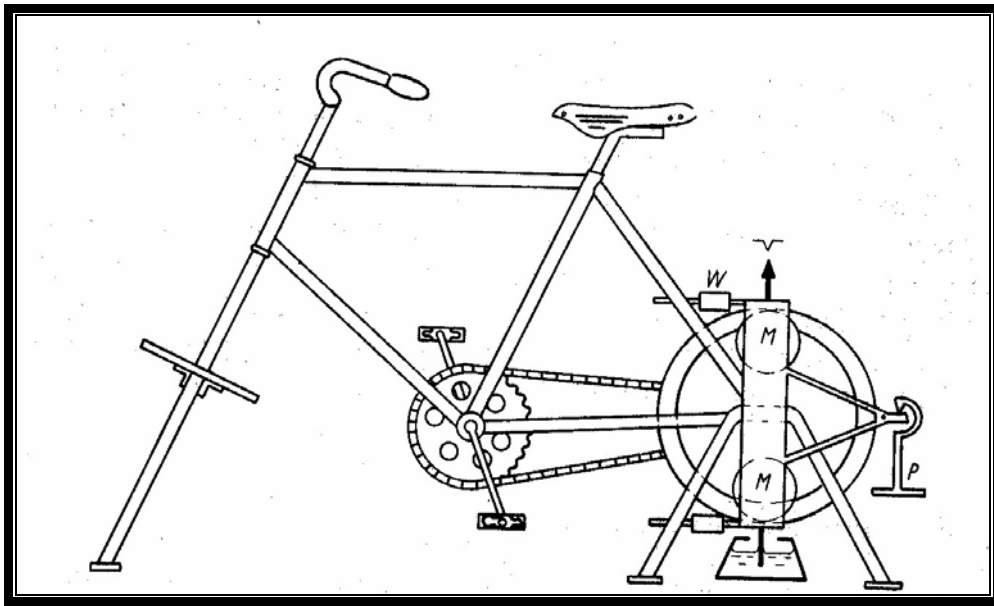


Abb. 9: Wirbelstrom-Fahrradergometer nach KROGH 1913.

KNIPPING präsentierte 1924 ein Gerät zur Anwendung in der Klinik und ärztlichen Praxis für genaue **Gasstoffwechseluntersuchungen in Ruhe**.

Mit einer Reihe wissenschaftlicher Veröffentlichungen, die heute als **historische Grundlagen** der **klinischen Gasstoffwechseluntersuchungen** und der **Spiroergometrie** eingestuft werden müssen, gelang es **KNIPPING** 1925, 1926, 1927, 1928 seine Methode national, aber auch international 1926 mit einer Abhandlung in der Shanghaier Zeitschrift *Tung-Chi* zum Durchbruch zu verhelfen.

Zuvor hatte der englische Nobelpreisträger **A. V. Hill** schon die **maximale Sauerstoffaufnahme** als Bruttokriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit herausgestellt und beispielsweise auch die Begriffe „*Sauerstoffdefizit*“, „*Sauerstoffschuld*“ = „*O₂-debt*“ und „*Steady-State*“ definiert (**HILL** 1925).

In der Folgezeit entstanden als Ausdruck dieser damals ebenfalls sehr aktuellen Forschungen neue Begriffe und Bezeichnungen wie *Atemreserve* (**KNIPPING** 1929), *Atemäquivalent* (**KNIPPING**, **MONCRIEFF** 1932), *Atemgrenzwert* (**HERMANNSEN** 1933), *respiratorische Ruheinsuffizienz*, *respiratorische Arbeitsinsuffizienz* und *spirographisches Sauerstoffdefizit* (**UHLENBRUCK** 1930, **ANTHONY** 1937, **BORGARD**, **MATTHIESSEN**, **ZAEPER** 1937, **KNIPPING** 1938, **ALLERÖDER**, **LANDEN** 1940).

Für die Spiroergometrie hat von diesen Parametern das **Atemäquivalent** (ÄÄ) bis heute seine Bedeutung erhalten, nachdem **NOWACKI** 1962 das Verhalten dieses die Atmungsökonomie charakterisierenden Quotienten bei ergometrischen Leistungen für das Erkennen des Erschöpfungspunktes nachgewiesen hat.

Bis auf den Atemgrenzwert (AGW) spielen die anderen Bezeichnungen keine Rolle mehr, da sie bei den Spiroergometrien mit neuen Apparaturen nicht mehr nachzuweisen waren bzw. sich als frühere Fehldeutungen herausgestellt hatten (**MELLEROWICZ** 1979).

1928 entwickelte **KNIPPING** ein **Dynamoergometer**, mit welchem eine gleichmäßige **Drehkurbelarbeit** möglich war. Der entscheidende Durchbruch – praktisch die Geburtsstunde der modernen klinischen und sportmedizinischen spiroergometrischen Leistungsdiagnostik – gelang dann **KNIPPING** 1929 in Zusammenarbeit mit **BRAUER** in Hamburg. Die Ergometerarbeit wurde mit einem **Spirographen** zur Untersuchung des Gasaustauschs bei Muskelarbeit (Drehkurbel im Stehen) von Gesunden und Kranken kombiniert (**KNIPPING** 1929). Spätere Hinweise auf diese Pionierforschungen erfolgten in den Publikationen von **KNIPPING** 1938; **BRAUER, WOLF** 1940; **KNIPPING, BOLT, VALENTIN, VENRATH** 1955.

Auch die Einführung des Begriffes „**Vita-maxima**“, welcher das Verhalten des menschlichen Organismus unter maximaler körperlicher Belastung beschreibt und im Gegensatz zur „**Vita-minima**“ bei Grundumsatzbedingungen – letzterer wird heute mehr mit Schwerstkranken in Verbindung gebracht (**NOWACKI** 2003, pers. Mittlg.) – wird **KNIPPING, BRAUER** für das Jahr 1929 zugeordnet (**HOLLMANN, PRINZ** 1994).

An dieser Stelle möchte ich aber schon darauf aufmerksam machen, dass der **Knipping'sche Stoffwechselapparat** von Beginn an auch mit ‚*Nachteilen*‘ und ‚*Ungenauigkeiten*‘ behaftet war. So entwickelte schon 1932 der Schweizer **JORDI** an der Medizinischen Klinik der Universität Bern eine Vorrichtung (Totalisator) zur genaueren Bestimmung der eingeatmeten Luftmengen am Knipping'schen Apparat, da vorher die totale Menge der ventilierten Luft nicht so genau wie z. B. mit der Douglas-Haldane-Methode u. a. bestimmt werden konnte.

Die **Fortschritte** der **Spiroergometrie** sind auch bis heute noch an die Konstruktion und den Einsatz von zuverlässig die körperliche Leistung des Sportlers sowie die Belastbarkeit des Kranken registrierende **Ergometer** verknüpft.

Die **Leistung** als **Arbeit/Zeit** wird dabei einheitlich in **SI-Einheiten** (SI - Système International d'Unités) in **Watt** (1 Watt = 1 Joule/s) oder **mkp/s** (1 mkp/s = 9,81 Watt \approx 10 Watt) oder Pferdestärken **PS** (1 PS = 75 mkp/s = 736 Watt), aber auch als **Gesamtarbeit in Wattminuten** (Wm) registriert.

Dabei können im Rahmen meiner Dissertation nur noch einzelne besonders wichtige **Stationen der technischen Ergometer-Entwicklung** kurz erwähnt werden.

Umfassende Darstellungen finden sich bei **MELLEROWICZ** 1962, 1975, 1979; **NOWACKI** 1977; **DAL MONTE** 1983 und **HOLLMANN** 2002.

HOLZER und **KALINKA** entwickelten 1935 ein **Reibungs-Fahrrad-Ergometer**. Statt des Hinterrades wurde eine Bremsscheibe verwendet, über die ein Stahlband gelegt wurde. An der einen Seite war das Stahlband durch eine Federwaage an einer Platte am Boden befestigt und an der anderen Seite konnte ein Gewicht angehängt werden. Dieses Gegengewicht konnte je nach gewünschter Ergometerleistung variiert werden (Abb. 10 a, b) (**HOLZER, KALINKA** 1935).

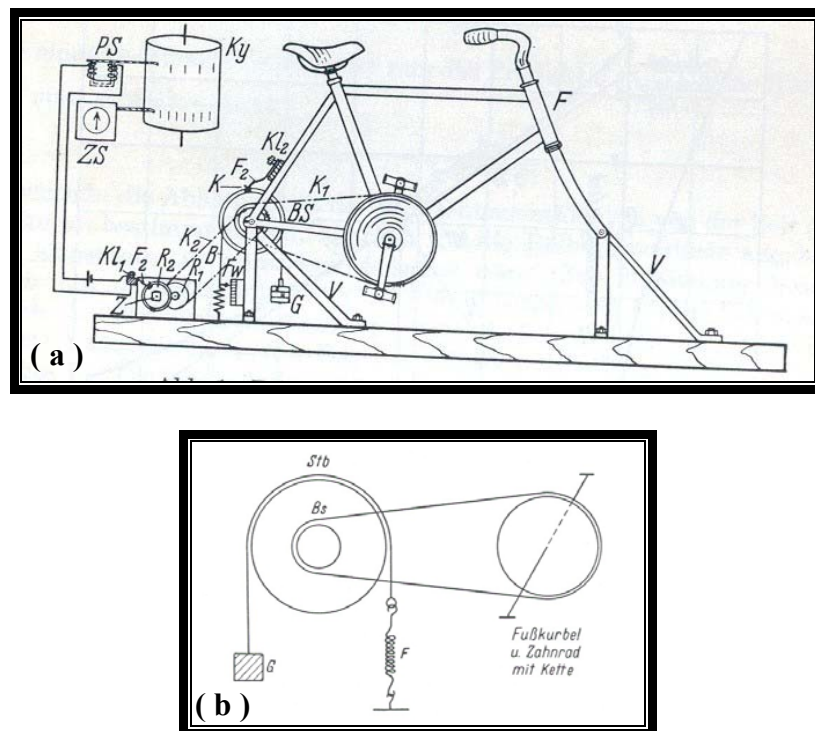


Abb. 10 a, b: Fahrrad-Reibungs-Ergometer nach HOLZER und KALINKA 1935

- a) **Prinzipskizze des Fahrradergometers aus der am 17. Juli 1935 eingereichten Arbeit von W. Holzer und M. Kalinka, Physiologisches Institut der Universität Wien**
- b) **Schematische Darstellung des Fahrrad-Reibungs-Ergometers nach Holzer und Kalinka von MELLEROWICZ, 1962.**

Die Firma **Dargatz** stellte ein sehr einfaches und billiges **Handkurbel-Reibungs-Ergometer** her. Diesem Gerät fehlten allerdings die Schwungmasse und der Umdrehungszähler, was die Einhaltung einer gleichmäßigen Drehgeschwindigkeit und Drehzahl schwierig gestaltete (Abb. 11).

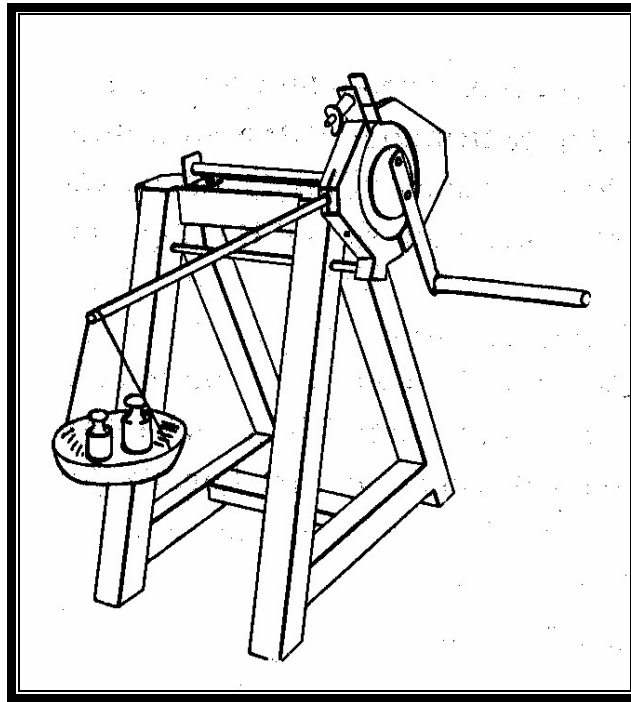


Abb. 11: Dargatz-Reibungs-Ergometer.

In Stockholm konstruierte Per-Olof **ÅSTRAND** mit der Firma **Monark** ein in der Praxis weltweit bis heute sehr bewährtes, **mechanisch gebremstes Ergometer** (Abb. 12). Zur Bremsung des Schwungrades dient ein Bremsriemen, der den größten Teil des Schwungradumfangs umfasst. Er ist an der Drehachse des aus Pendeltrommel, Pendelarm und Pendelgewicht zusammengesetzten Pendels der Pendelwaage befestigt. Das Pendel hängt im Ruhezustand senkrecht und wird bei Zug am Bremsriemen ausgelenkt. Die Auslenkung und damit die Zugkraft ist an der Kilopond und Newton geeichten Skala ablesbar (**ÅSTRAND** 1952).

$$1 \text{ mkp} = 9,81 \text{ Joule} (\approx 10 \text{ Joule}) = 9,81 \text{ Newtonmeter} (\approx 10 \text{ Nm})$$

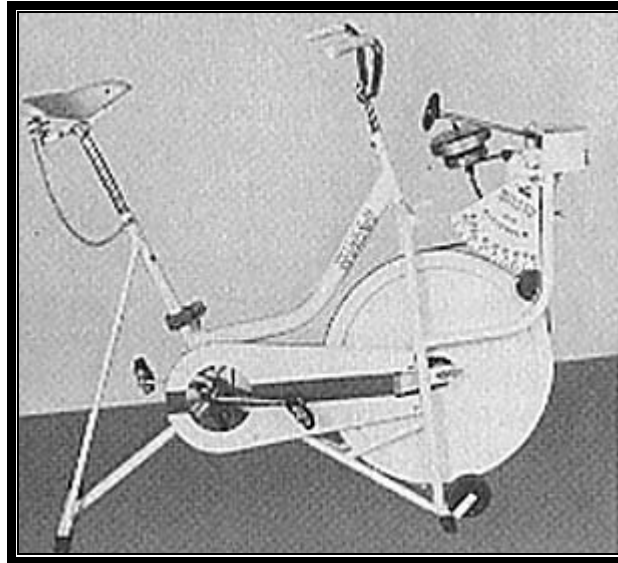


Abb. 12: Mechanisch gebremstes Ergometer der Fa. Monark – Konstruktion des schwedischen Sportmediziners P. O. Åstrand.

In Deutschland war es E. A. **MÜLLER** (1937, 1938, 1950), dessen grundlegende arbeitsphysiologische Forschungen zur Entwicklung eines **Fahrradergometers** führten, welches die Einhaltung einer konstanten Leistung und Umdrehungszahl gewährleistete. Weitere von ihm verbesserte Ergometer mit höherer Messgenauigkeit ermöglichten dann **Hand- und Fußkurbelarbeit** (**MÜLLER, HETTINGER** 1950).

Durch **HOLMGREN** und **MATTSSON** wurde 1954 ein Ergometer entwickelt, das die *Einhaltung einer bestimmten Leistung unabhängig von der Drehzahl* möglich machte. Der Bremswiderstand wird durch einen Gleichstromgenerator mit Fremdmagnetisierung gegeben. Der Generator ist durch einen Regler steuerbar und gibt seine Leistung an einen Ballastwiderstand ab. Der Regler wird durch Drehzahl und Drehmoment so gesteuert, dass das Produkt aus Bremswirkung und Drehzahl bei wechselnden Drehzahlen konstant gehalten wird. Das geschieht, indem die Spannungsdifferenzen zwischen einem Bezugsvoltmeter und der Generatorspannung zu einem elektronischen Verstärker geleitet werden (zitiert und ausführliche Beschreibung bei **MELLEROWICZ** 1974).

Dieses Messprinzip für die körperliche Leistungsfähigkeit mit einem Ergometer entspricht damit den für meine Dissertation eingesetzten elektrisch gebremsten Ergometern bei der Fa. E. Jaeger/Würzburg (**NOWACKI** 1967, **NOWACKI, ADAM, KRAUSE, RITTER** 1971, **NOWACKI** 1973).

Die Hamburger Firma Dargatz konstruierte das **Dargatz-Wirbelstrom-Ergometer** Typ 171. Dieses Ergometer, ein übersetzungsloses Kurbel-Ergometer, funktionierte ohne Zahnräder und Ketten und war zur **Handkurbelarbeit** und zur **Fußkurbelarbeit im Liegen** geeignet. Die Leistung ließ sich über eine Wirbelstrombremse durch Kontrolle am Pronyschen Zaun mit jeder beliebigen Drehzahl einstellen (Abb. 13).

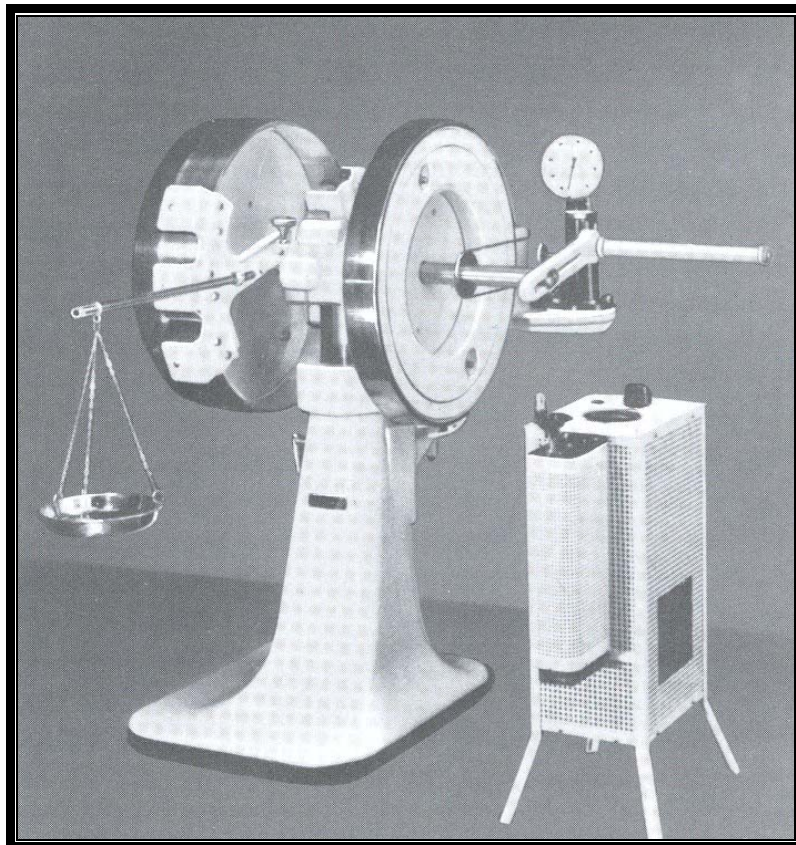


Abb. 13: Dargatz – Wirbelstrom – Ergometer Typ 171.

Ein sehr einfaches und somit in der praktischen Anwendung gut handhabbares Dynamoergometer stellte das **Universal-Ergometer** der Firma **Franzke**, West-Berlin, nach **LAUCKNER** (Abb. 14 a, b) dar. Auch dieses war für die **Kurbelarbeit** im **Sitzen**, **Stehen** und **Liegen** geeignet. Die vom Probanden geleistete **Wattzahl** ließ sich direkt von einem **Wattmeter** ablesen. Ein eingebautes Drehzahlwerk ermöglicht auch bei nicht ganz gleichmäßiger Arbeit des Probanden die Ablesung der durchschnittlichen Leistung/Minute aus der Eichkurve.

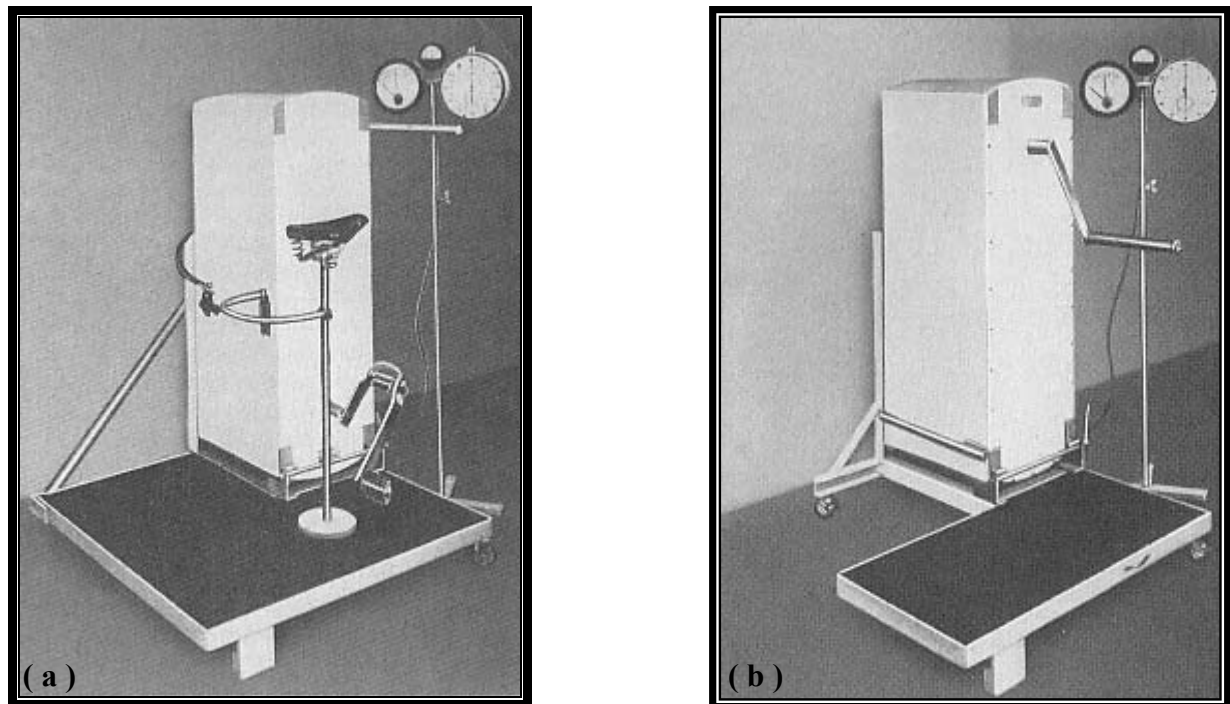


Abb. 14 a, b: Universal-Ergometer der West-Berliner Fa. Franzke nach LAUCKNER unter Mitarbeit von MELLEROWICZ mit drehzahlabhängiger und drehzahlunabhängiger Leistungsregelung. Durch Umstellung des Ergometergehäuses um 180° kann die Handkurbel (a) durch eine Fußkurbel (b) für fahrradergometrische Arbeiten im Sitzen umgestellt werden.

Die Firma **E. Jaeger**, Würzburg, baute ein **Universal-Ergometer** (Abb. 15), welches eine **drehzahlunabhängige**, stufenlose beziehungsweise eine **drehzahlabhängige** Regelung der Leistung ermöglichte. Das Gerät wurde unter dem Namen „**Ergotest**“ bekannt.

Mit diesem Ergometer konnte **NOWACKI** vor den Olympischen Spielen 1968 in Mexico City einige Athleten des **Deutschland-Achters** und **Olympiasiegers** (**Trainer: KARL ADAM**) nach dem Höhenttraining auf dem Silvretta-Stausee in Österreich (2040 m) anschließend im Flachland (Ratzeburg 0 m) mit der von ihm entwickelten **Ergometrie-Methode** für Elite-Ruderer bis zu **2 Minuten 450 Watt** belasten.

Dies waren damals national und international die **höchsten Wattstufen**, bei welchen gleichzeitig erstmals **maximale Sauerstoffaufnahmen** von **6,0** bis **7,1 l • min⁻¹ STPD** gemessen wurden. Später hat die Fa. Jaeger ihre Ergometer mit einer Leistungsbreite über **600** bis zu **1000 Watt** ausgebaut, so dass auch einminütige anaerobe Tests mit höchsten Wattleistungen möglich wurden (**SZÖGY** u. Mitarb. 1984).

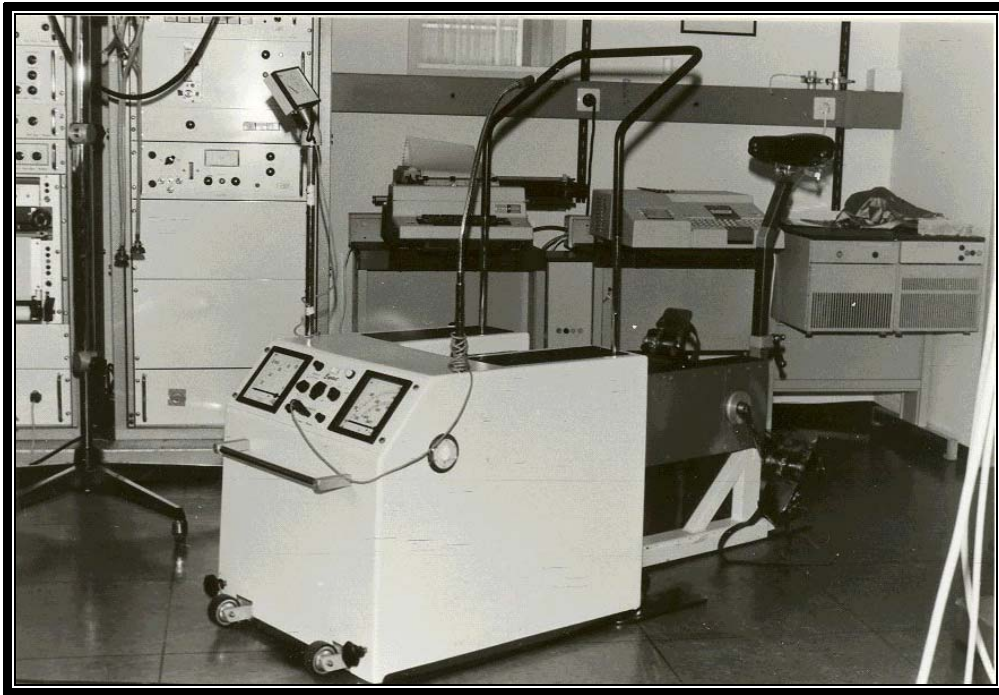


Abb. 15: Elektrisch gebremstes Universal-Ergometer „ Ergotest “ der Firma E. Jaeger, Würzburg. Wattstufeneinstellung per Hand!

Die weitere technische Revolution, vor allem initiiert durch die Entwicklungen im Rahmen der amerikanischen Raumfahrt, führte dann zu ersten Konstruktionen **vollelektronischer** und **computergesteuerter Ergometer**. So berichten **HOLLMANN, PRINZ** 1994 über ein auf Anregung der Autofirma **Chrysler** und von der Fa. **Keiper**, Kaiserslautern, gebautes 1974 am Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin der Deutschen Sporthochschule entwickeltes Ergometer (**HOLLMANN** in Zusammenarbeit mit seinem Mitarbeiter **LIESEN**), welches als Modell **„Dynavit“** (Abb. 16a) Vorbild für den Bau von computergesteuerten, vollelektronischen Ergometern bis heute ist.

Zusammen mit MACHAN 1978 überprüfte NOWACKI in Gießen mit der von ihm entwickelten ‚**Methode der biologischen Eichung**‘, welche gerade Unterschiede im **Wirkungsgrad** von Ergometern feststellen kann, die Übereinstimmung des **Dynavit**-Ergometers mit dem bewährten Ergometer ‚**Ergostat**‘ der Fa. E. Jaeger/Würzburg (Abb. 16 b).

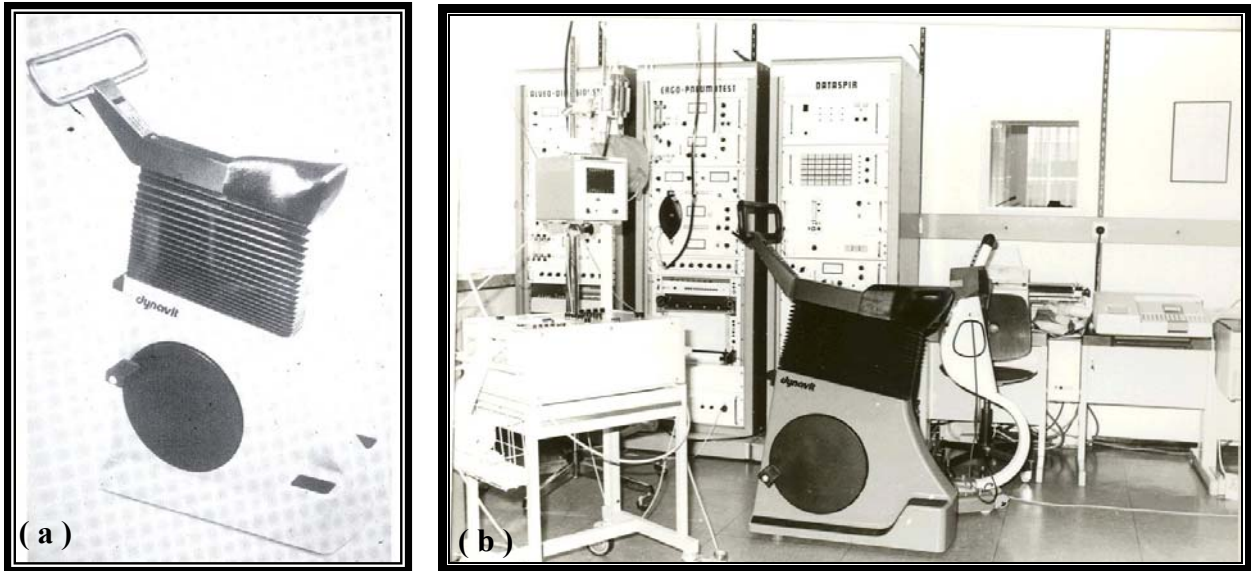


Abb. 16 a-b:

- a) „Dynavit“ – Das erste vollelektronisierte und computerisierte Fahrrad-ergometer 1974 der Fa. Keiper, Kaiserslautern, konstruiert nach den Empfehlungen von HOLLMANN, LIESEN, DSH Köln.
- b) „Biologische Eichung“ nach NOWACKI, MACHAN 1978 des Dynavit-Ergometers „Meditronic“ der Fa. Keiper-Trainingssysteme mit den identischen Wattstufen beim „Ergotest“ und Registrierung der kardio-respiratorischen Funktionsgrößen mit dem „Ergo-Pneumotest“ der Fa. E. Jaeger/Würzburg, sowie die vergleichende Herzfrequenzmessung Dynavit vs. Dreifachschreiber der Fa. Hellige, Freiburg i. Breisgau.

Nach der kurzen Übersicht zur Entwicklung leistungsfähiger Ergometer für die sportmedizinische Leistungsdiagnostik bis zur Gegenwart, sollen ebenso kurz entsprechende **Fortschritte der Spiroergometrie** für die Klinik und Sportmedizin beleuchtet werden.

In Skandinavien wurden zwischen 1930 und 1950 unter Mitwirkung von **ASMUSSEN**, **CHRISTENSEN** und **NIELSEN** Forschungsergebnisse publiziert, die sich mit der **Tretkurbelarbeit** im **Sitzen** und im **Liegen** unter Berücksichtigung des **Gasstoffwechsels** (Douglassackmethode/Sammel-Spirometer), des **intermediären Stoffwechsels** und der **Reaktion** des **Herz-Kreislauf-Systems** bei unterschiedlich dosierter Arbeit beschäftigten.

Auch führte **CHRISTENSEN** Belastungen auf dem Fahrradergometer unter **Höhenbedingungen** in den südamerikanischen Anden auf einer Höhe von **5340 Metern** durch. Er erhob Daten über die Sauerstoffaufnahme, die Herzfrequenz und das Atemminutenvolumen (**CHRISTENSEN** 1931, 1937, **NIELSEN** 1938, **ASMUSSEN** 1965).

Die Entwicklung in den 20er Jahren und die Fortschritte der Spiroergometrie nach dem 2. Weltkrieg ab 1945 in Deutschland werden immer mit dem Kölner Ordinarius für Innere Medizin, Prof. Dr. H. W. **KNIPPING**, verbunden bleiben (Abb. 17 a, b).



Abb. 17 a – b:

- a) **Prof. Dr. med., Dr. rer. nat. h.c., Dr. med. h.c. Hugo Wilhelm KNIPPING, Direktor der Medizinischen Universitätsklinik Köln, bei der Feier zu seinem 65. Geburtstag (nach HOLLMANN 1993).**
- b) **Prof. Dr. med. Ernst JOKL, Lexington, USA (li.) mit dem Ehepaar Prof. KNIPPING auf dem Gelände der DHS Köln.**

Mit dem 1949 erstmals durch die Fa. **Dagartz** gebauten **Spirographensystem** nach **KNIPPING** konnte ein reales Abbild der Leistungsfähigkeit bis zu einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 3000 ml/min registriert werden. Das Gerät wurde in der Deutschen **Sporthochschule Köln** aufgestellt, wo **HOLLMANN** zunächst mit seinem „Sportmedizinischen Privatlabor“ die weltweit bedeutsamen Untersuchungen zur Bestimmung der Normwerte für das Atmungs- und Stoffwechselverhalten gesunder, leistungsfähiger männlicher und weiblicher Personen begann (Abb. 18).

Dies erfolgte auf verschiedenen Belastungsstufen in Abhängigkeit vom Alter und Trainingszustand, wobei letzterer nicht zu hoch sein durfte.

Bei diesen Versuchen wurde erstmals das **Atemäquivalent** mitregistriert, welches heute nach den Untersuchungen von **NOWACKI** 1962, 1981 ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Leistungssituation beim aerob/anaeroben Übergang mit Änderung der Ventilationsökonomie (**NICKEL** 1993) und der Bestimmung des Erschöpfungspunktes ist.

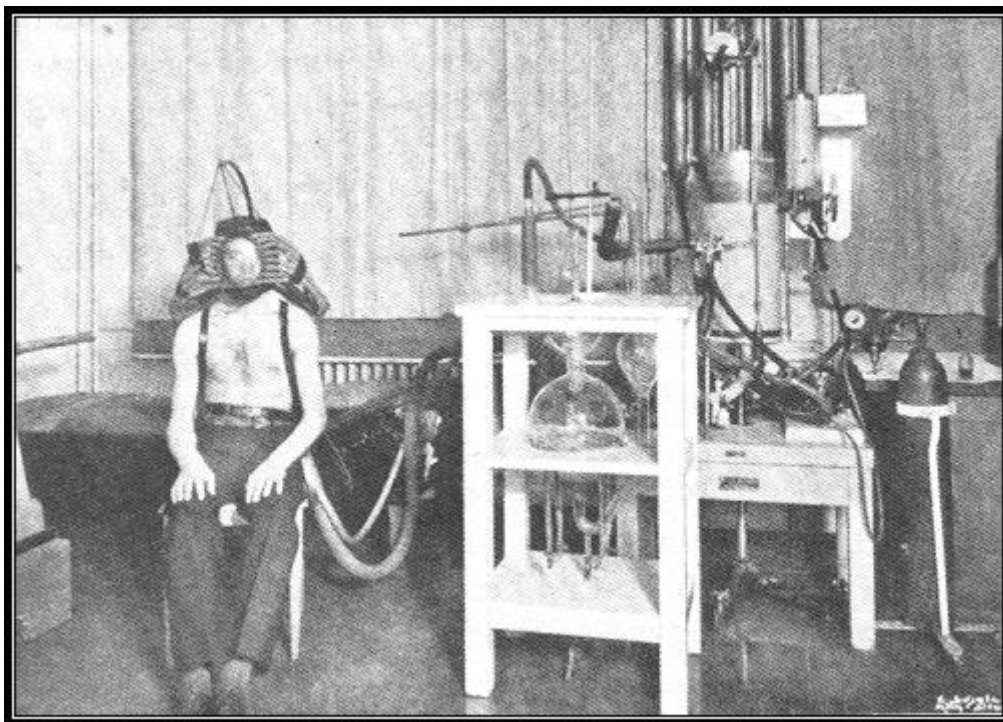


Abb. 18: Spiroergometrische Untersuchung an der Deutschen Sporthochschule Köln (DSH) 1950 mit einer Gesichtsmaske und dem Spirographensystem nach **KNIPPING** im Labor des Arztes und Doktoranden **W. HOLLMANN**, wo er die Experimente für seine Dissertation durchführte (**HOLLMANN**, Inaug. Diss. Dr. med. 1954).

In den 50er Jahren erfolgte ein **Durchbruch** in der **Technik** der **klinischen Spiroergometrie** mit der Entwicklung einer Spiroergometrieanlage, zurückgehend auf eine Gruppe um **BOLT**, **VALENTIN** und **VENRATH** von der **KNIPPINGschen** Kölner Medizinischen Universitätsklinik (**BOLT** u. Mitarb. 1952, 1953, **KNIPPING** u. Mitarb. 1955)

Das 1953 entwickelte **Spirographensystem** der Fa. Dargatz ermöglichte dann schon mehr oder weniger zuverlässige Bestimmungen der maximalen Sauerstoffaufnahme bis zu 5,0 l/min STPD (Abb. 19).

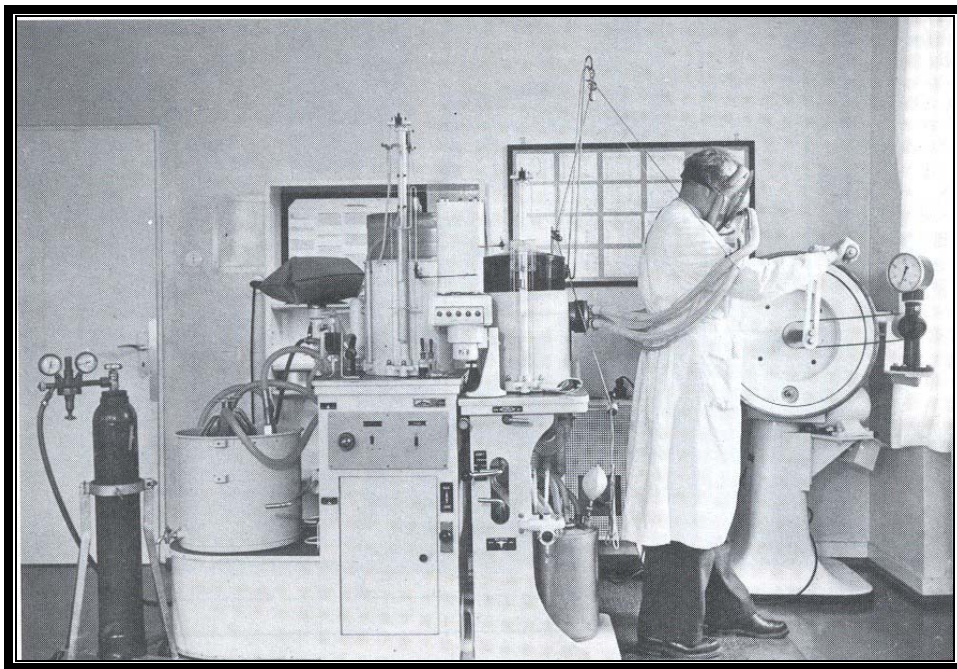


Abb. 19: Drehkurbelarbeit im Stehen; Spirographensystem 210 D der Fa. Dargatz 1954 in der Medizinischen Universitätsklinik Köln.

VALENTIN u. Mitarb. ermittelten dann 1955 mit einer weit ausholenden Drehkurbelarbeit im Stehen, wobei der **Sauerstoffverbrauch** der Versuchsperson aus dem geschlossenen Spirometerglockensystem über eine **externe O₂-Gasflasche** ausgeglichen wurde, die $\dot{V}O_2$ max in **Abhängigkeit** vom **Alter**.

Dabei wurden auch **Versuche** mit reiner Sauerstoffatmung durchgeführt.

ZIELBERG hat in seiner Dissertation 2002 an der **JLU-Gießen** auf der Grundlage seiner Experimente mit der **Zufuhr** von **Sauerstoff** während der **Spiroergometrie** mit Maskenatmung im offenen System von Patienten der Gießener Herzsportgruppen die Physiologie der Sauerstoffatmung noch einmal kritisch beleuchtet.

HOLLMANN erkannte dann bald die Schwächen der von **KNIPPING** bevorzugten Drehkurbelarbeit, da Blutdruckmessung, Blutentnahmen und invasive Katheteruntersuchungen während der Leistung nicht möglich waren.

Ab 1954 führte er deshalb seine spiroergometrischen Untersuchungen im Sitzen mit einem Fahrradergometer durch, welches im Dortmunder Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie von **E. A. MÜLLER** entwickelt und von dort ausgeliehen wurde (**HOLLMANN, PRINZ** 1994; **HOLLMANN** 2002).

Die störenden Nebengeräusche der Fahrradergometerketten in Köln – mit den leise laufenden Jaeger-Ergometern konnten am Gießener Institut für Sportmedizin bis heute sehr sicher die Leistungsblutdruckwerte nach **RIVA ROCCI/KOROTKOW** gemessen werden (Methodik, Abb. 62) – waren 1955 Anlass zur Entwicklung des **1. halbautomatisch registrierenden Blutdruckmessgerätes** (Abb. 20).

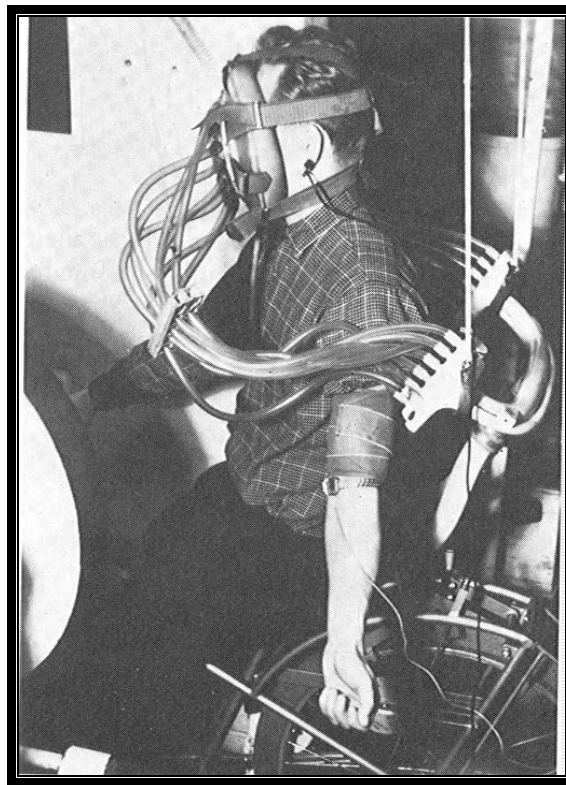


Abb. 20: Fahrradspiroergometrie mit Registrierung des Arbeits-Blutdruckverhaltens und der vom Ohrläppchen abgeleiteten Pulsfrequenzschreibung in der Deutschen Sporthochschule Köln 1955.

Parallel hierzu wurden **arterielle Blutentnahmen** aus einer **Verweilkanüle** in der A. brachialis während der Fahrradspiroergometrie möglich. Die entsprechende Abb. 21 zeigt gleichzeitig die das gesamte Gesicht des Probanden abdeckende **Maske** mit den In- und Expirationsschläuchen im geschlossen arbeitenden KNIPPING-Spirographen.

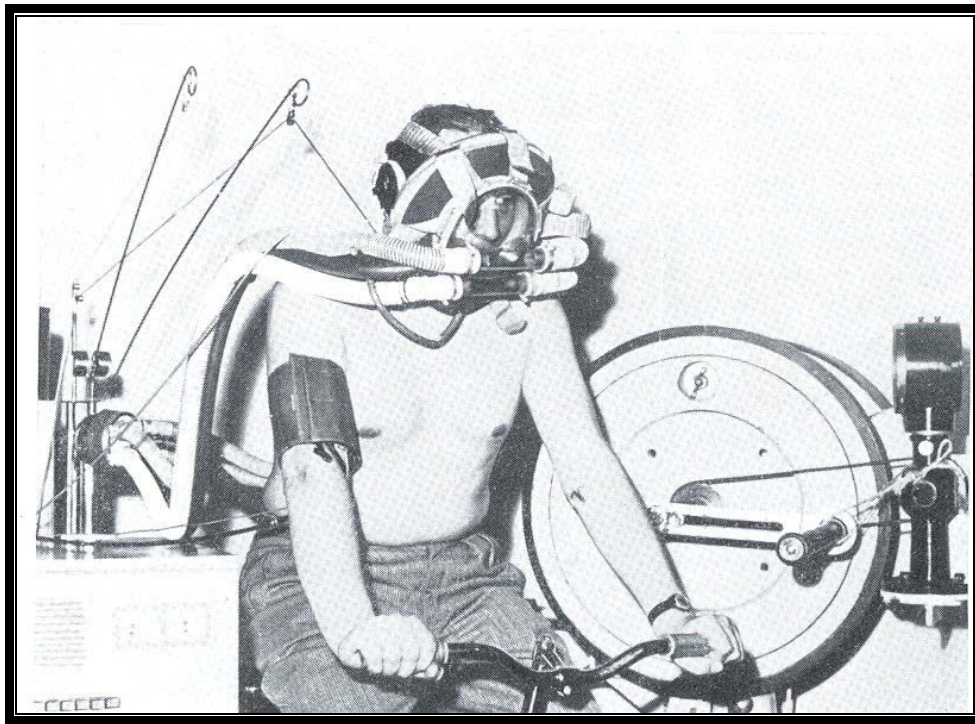


Abb. 21: Arbeitsuntersuchung auf dem Fahrradergometer unter gleichzeitiger Registrierung von Ventilation, Sauerstoffaufnahme, Pulsfrequenz und diastolischen Blutdruck. Verweilkanüle in der Arteria brachialis zur arteriellen Blutentnahme während körperlicher Arbeit.

Den Anschluss der Sportler über die luftdicht gegenüber der Außenluft abgedichteten Plexiglasgesichtsmaske an die verschiedenen geschlossenen Spirometersysteme, wie den Metabographen nach **FLEISCH**, den Magna-Test der Fa. Dargatz, zeigt **schematisch** die Abb. 22 für den **KNIPPING**-Spirographen der Aufbaustufe C.

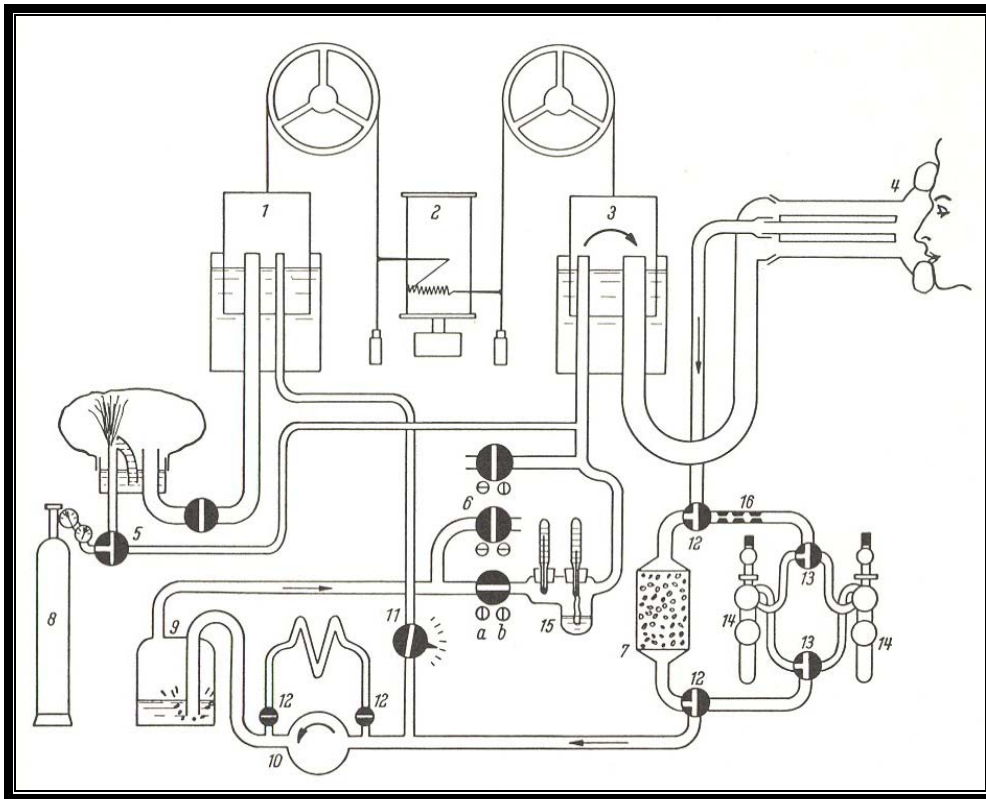


Abb. 22: Schematischer Aufbau des Knipping-Spirographen der Aufbaustufe C.

Die durch Sperrwasser abgedichtete Spirometerglocke zeigt jede durch die Atmung des Probanden hervorgerufene Volumenänderung mit Hilfe einer Anzeigevorrichtung an und überträgt diese mittels Glaskapillarschreiber auf geeichtes Registrierpapier, welches über einen Wechsellaufring abläuft. Die Menge des aus diesem geschlossenen System durch den Probanden entnommenen Sauerstoffs wird durch einen kontinuierlichen Anstieg der Atemkurve, entsprechend der Sauerstoffabnahme in der Spirometerglocke, angezeigt. Das ausgeatmete CO_2 wird von Natronkalk gebunden.

Diese **geschlossenen Systeme** bieten für die **Leistungsdiagnostik**, besonders bei der Ermittlung extremer biologischer Parameter bei Hochleistungssportlern, **Vor- und Nachteile**. Ein **Nachteil** liegt darin, dass die Spirometerglocken bei großen Atemminutenvolumina von 150 l und mehr einmal in Abhängigkeit von der Tauchtiefe der Glocken und der hohen Atemfrequenz, zum anderen in der Eigenträgheit, diese AMV-Werte nicht mehr exakt bzw. zu niedrig messen. Man hat diesen Nachteil durch ständige technisch aufwändige Vergrößerungen der Apparaturen und den Einbau von Luft-Umwälzpumpen bis zu 450 l Luft/min weitgehend ausgleichen können.

Nach **Vergleichsuntersuchungen** zwischen der **sehr genauen Douglas-Sackmethode** und dem **geschlossenen Spirometersystem** Dargatz Magna-Test Typ 510 zeigte sich aber, dass die Sauerstoffaufnahme im geschlossenen System bei hohen Belastungen zu niedrig und das AMV um 19,7 % zu hoch bestimmt wird (**ROSKAMM** 1971).

Ein weiterer Nachteil besteht in der möglichen **Abnahme** der **Sauerstoffkonzentration** im System, den man durch zusätzlichen Einbau von Sauerstoffstabilisatoren auszugleichen versuchte. Schließlich kann bei extremen Belastungen mit hohen Kohlendioxidausscheidungen das **CO₂-Absorptionssystem** überfordert werden, dem durch größtmögliche Natronkalkbehälter entgegengewirkt wurde. Erhöhungen der CO₂-Konzentration schon um 1 bis 2 Vol.% in der Einatemungsluft können zusätzlich eine Ventilationssteigerung bewirken. Im Interesse einer für praktische und wissenschaftliche Zwecke ausreichenden Messgenauigkeit erforderlichen zusätzlichen Einbauten und Stabilisatoren haben die geschlossenen Systeme immer „größer“ werden lassen und machten eine stabile Aufstellung im Labor erforderlich, so dass sie sich für den in der Sportpraxis so wichtigen mobilen Einsatz nicht eignen.

Andererseits bieten die geschlossenen Systeme auch einen großen **Vorteil**. Man hat bei ihnen die Möglichkeit, den **Sauerstoffgehalt** der zirkulierenden Luft beliebig **einzustellen**. Dieser allerdings alleinige Vorteil wurde deshalb im Interesse des Sports für Studien über den Einfluss von **Sauerstoffmangel** auf die körperliche und biologische Leistungsfähigkeit, hauptsächlich in den Jahren vor den Olympischen Spielen in Mexico-City, genutzt.

Auch bei **Tauglichkeitsuntersuchungen** von Flugzeugführern, bei der Ermittlung der Sauerstoffmangeltoleranz von Herz-Kreislauf-Kranken u. a., werden die geschlossenen Systeme mit großem Erfolg eingesetzt. Große leistungsphysiologisch ausgerichtete Institute und Kliniken sollten deshalb über geschlossene und offene Messapparaturen verfügen.

Weitere technische Veränderungen durch **HOLLMANN** (Abb. 23) und seine MitarbeiterInnen machten letztendlich die **Registrierung** einer **Sauerstoffaufnahme** bis zu **6000 ml/min** möglich. So konnten zum ersten Mal Weltklassemportler der Ausdauersportarten im Grenzbereich ihrer Leistungsfähigkeit untersucht werden (**HOLLMANN** 1963).

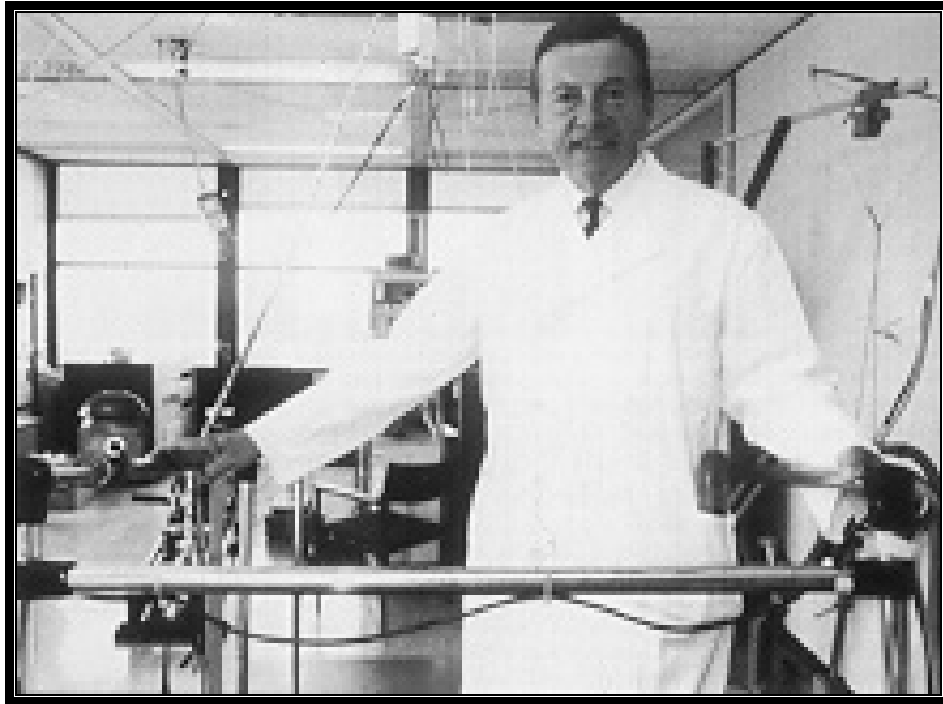


Abb. 23: Univ.-Prof. Dr. med., Dr. med. h.c. mult. Wildor Hollmann (* 30. Januar 1925 in Menden/Sauerland), damaliger Präsident des Weltverbandes für Sportmedizin (Fédération Internationale de Médecine du Sport, International Federation of Sports Medicine, FIMS) und des Deutschen Sportärztebundes [DSÄB, jetzt: Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (Deutscher Sportärztebund e.V., DGSP)] vor seiner Emeritierung als Ordinarius für Kardiologie & Sportmedizin und Direktor des Instituts für Kreislaufforschung & Sportmedizin an der Deutschen Sporthochschule Köln (DSH) im Februar 1990.

Die **Schwierigkeiten** mit den **geschlossenen Spirometerapparaturen** bei leistungsmedizinischen Untersuchungen im **Vita maxima-Bereich** mit immer besser trainierten Athleten veranlasste den **Kölner Arbeitskreis** zunehmend auf die „**sicheren**“ **submaximalen Belastungen** und die darauf basierende „Hochrechnung“ bzw. „Bestimmung“ der kardiorespiratorischen Maximalwerte nach **Nomogrammen** zurückzugreifen.

Diese „**Schätzungsmethoden**“ waren dann ursächlich für viel zu hohe maximale Sauerstoffaufnahmewerte und die davon abhängigen Quotienten, die in den 60er Jahren die sportmedizinische Literatur dominierten (**HOLLMANN** 1963, 1965).

So kam es 1962 zu eklatanten „Fehlhochrechnungen“ der **maximalen Sauerstoffaufnahme** von **Fußballspielern** ($n = 13$) der Deutschen Nationalmannschaft, die in Köln im Auftrag des damaligen **Bundestrainers SEPP HERBERGER** (Abb. 24) in Köln durchgeführt wurden.

Die $\dot{V}O_2\text{max}$ wurde mit durchschnittlich ca. 5,3 l publiziert, ein Wert, der über 12 Jahre zu einer Fehleinschätzung der „aeroben“ Leistungsfähigkeit der Auswahl des Deutschen Fußballbundes (DFB) führte, die als hervorragende „Ausdauerleistungsfähigkeit“ interpretiert wurde (HOLLMANN u. Mitarb. 1962, HOLLMANN 1965).

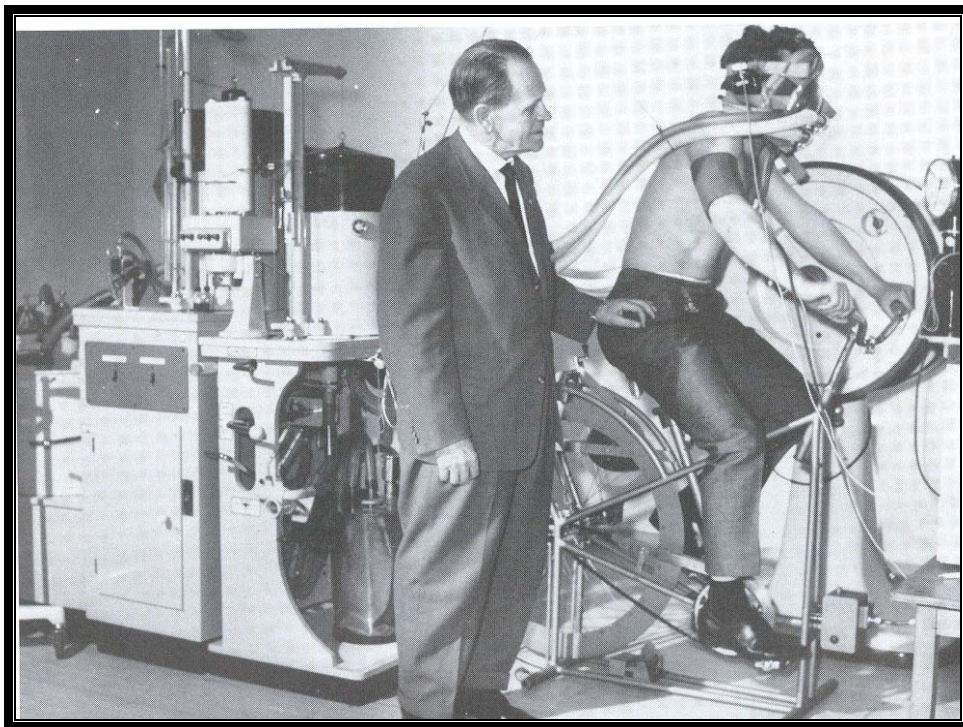


Abb. 24: Sepp Herberger, unvergessener Trainer der Deutschen Fußball-Nationalmannschaft und Schöpfer der Weltmeisterschaftself von 1954, bei Leistungsmessungen eines Fußballnationalspielers in Köln.

Nachdem **NOWACKI** 1974 bei der spiroergometrischen Leistungsprüfung des Fußball-WM-Kaders und Weltmeisters Deutschland 1974 mit dem modernsten Messplatz im offenen System im WM-Trainingslager in Malente/Schleswig Holstein diese hohen maximalen Sauerstoffaufnahmen nicht bestätigen konnte (**NOWACKI** 1977, **NOWACKI** u. Mitarb. 1984, 1988).

[$\dot{V}O_2$ max ml STPD]:

Erweiterter WM-Kader (n = 25) **4061** ± 532 ml;

Eingesetzte Spieler (n = 17) **4096** ± 501 ml;

Weltmeister 1974 (n = 10) **4087** ± 577 ml;

wurde **HOLLMANN** persönlich informiert.

Es vergingen noch einige Jahre, bis **HOLLMANN** u. Mitarb. 1981 ihre 1962 nomographisch extrem zu hoch bestimmten Maximalwerte der absoluten Sauerstoffaufnahme in den 4 l-Bereich revidierten und **realistische** Werte zur **Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit deutscher Fußball-Spieler** bei **Laufbandspiroergometrien** mit durchschnittlich **4,6 l** (n = 17) bekannt gaben.

Da die biologischen **Maximalwerte** bei **Laufbandspiroergometrien** **5 bis 10 % höher** als bei der Fahrradspiroergometrie im Sitzen bestimmt werden (**NOWACKI** 1981), liegen die aus den von **HOLLMANN** u. Mitarb. 1981 publizierten Werte der $\dot{V}O_2$ max ml/min • kg von $62,0 \pm 4,5$ und einem Gewicht von $75,2 \pm 4,5$ kg zurückgerechneten „Vergleichswerte“ für eine fahrradergometrische Belastung im Sitzen im deutschen Fußballspitzensport der 80er Jahre bei $4,1 - 4,3$ l $\dot{V}O_2$ max STPD.

Den **entscheidenden Fortschritt** von den **Anfängen** mit der **Douglassack-Methode**, über die Zwischenschaltung **trockener Gasuhren** in den Ein- oder Ausatemungsweg, bis zu den heutigen **computergesteuerten pneumotachographischen Messplätzen**, verdankt die spiroergometrische Leistungsdiagnostik den **offenen Systemen**.

Im Prinzip atmet bei allen offenen Systemen die Versuchsperson über ein **Atmungsventil** Umgebungsluft ein und über ein anderes Ventil wieder aus. Ein- und Ausatemungsventil führen zu einem gemeinsamen Mundstutzen, der über ein spezielles Gummimundstück vom Mund der Vp. mit den Lippen luftdicht umschlossen wird. Es handelt sich um so genannte „Y“-Ventile (nach **OTIS-MAC-KERROW, JAEGER** u. a.), die eine Ausschaltung der Nasenatmung über eine Nasenklemme zusätzlich erfordern.

Auch die Zuverlässigkeit dieser Ventile (Abb. 25) erforderte eine lange Entwicklungsarbeit, die vor allem in Amerika geleistet wurde (**CONSOLAZIO, JOHNSON, PECORA** 1963).

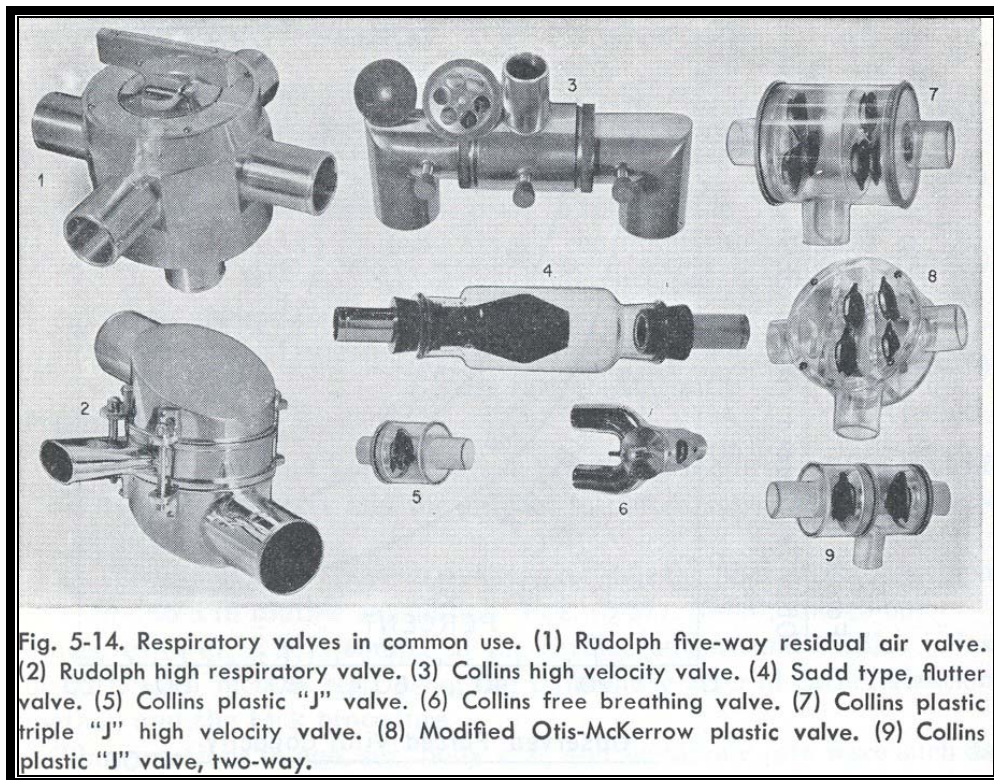


Abb. 25: In den USA entwickelte Atmungsventile mit der Legende von CONSOLAZIO, JOHNSON, PECORA 1963.

Zwar wird bei **maximalen Ventilationsleistungen** ohnehin nur die **Mundatmung** eingesetzt, doch empfinden eine Reihe von Sportlern die **Abklemmung der Nase** als Behinderung. Für diese stehen kleine **Atemmasken** mit entsprechend arbeitenden Ventilen bereit, obwohl dadurch keine größeren Atemminutenvolumina als mit den Mundventilen bei abgeklemmter Nasenatmung erreicht werden.

Die „Ventilatung“ muss also **bei jedem offenen System** eingesetzt werden, so dass die qualitative und quantitative Registrierung der Ventilationsgrößen an eine **einwandfreie Funktion der Ventilkappen** geknüpft ist. Die hohen Anforderungen bei der Testung von Sportlern haben die entsprechende Industrie zur Konstruktion von Ventilen gezwungen, die auch bei Atemzeitvolumina von 200 bis 300 l präzise arbeiten. Diese **Niederdruck-Atemventile** erfüllen auch weitgehend die Forderung nach einem tottraumfreien Atmen.

Auf der Abb. 26 ist der Einsatz eines solchen Ventils bei der **spiroergometrischen Untersuchung** einer **Frau** mit der damals typischen „Sportkleidung“ einschließlich Stöckelschuhen Anfang der 30er Jahre mit einer „**Eigenkonstruktion**“ des Dortmunder Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie, die aber keine weitere Verbreitung fand, zu sehen.

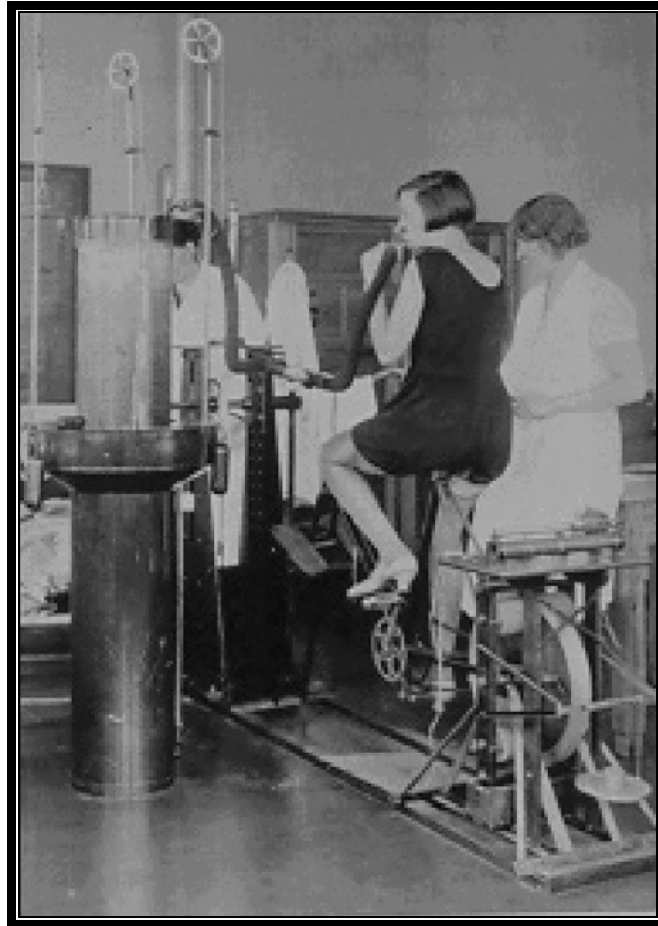


Abb. 26: Spiroergometrische Untersuchung im offenen System über ein Y-Ventil mit Nasenklemme und einer „Eigenkonstruktion“ zur Registrierung der Atmung im Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund Anfang der 30er Jahre.

In der **West-Berliner Sportärztlichen Hauptberatungsstelle** (Bln.-Wilmerdorf, Sybelstr. 9) **entwickelten** der Leiter, Priv.-Doz. Dr. med. Harald **MELLEROWICZ**, zusammen mit dem Medizinstudenten der Freien Universität Berlin, cand. med. Paul E. **NOWACKI**, der als Doktorand des Berliner Herzchirurgen Prof. Dr. med. Emil Sebastian **BÜCHERL** atemphysiologische Experimente im Klinikum der F.U., Westend-Krankenhaus, durchführte, einen **spiroergometrischen Messplatz im offenen System**.

Traditionell stand damals in Berlin auch noch die **Handkurbelergometrie** im Stehen im Vordergrund (Abb. 27 a, b).

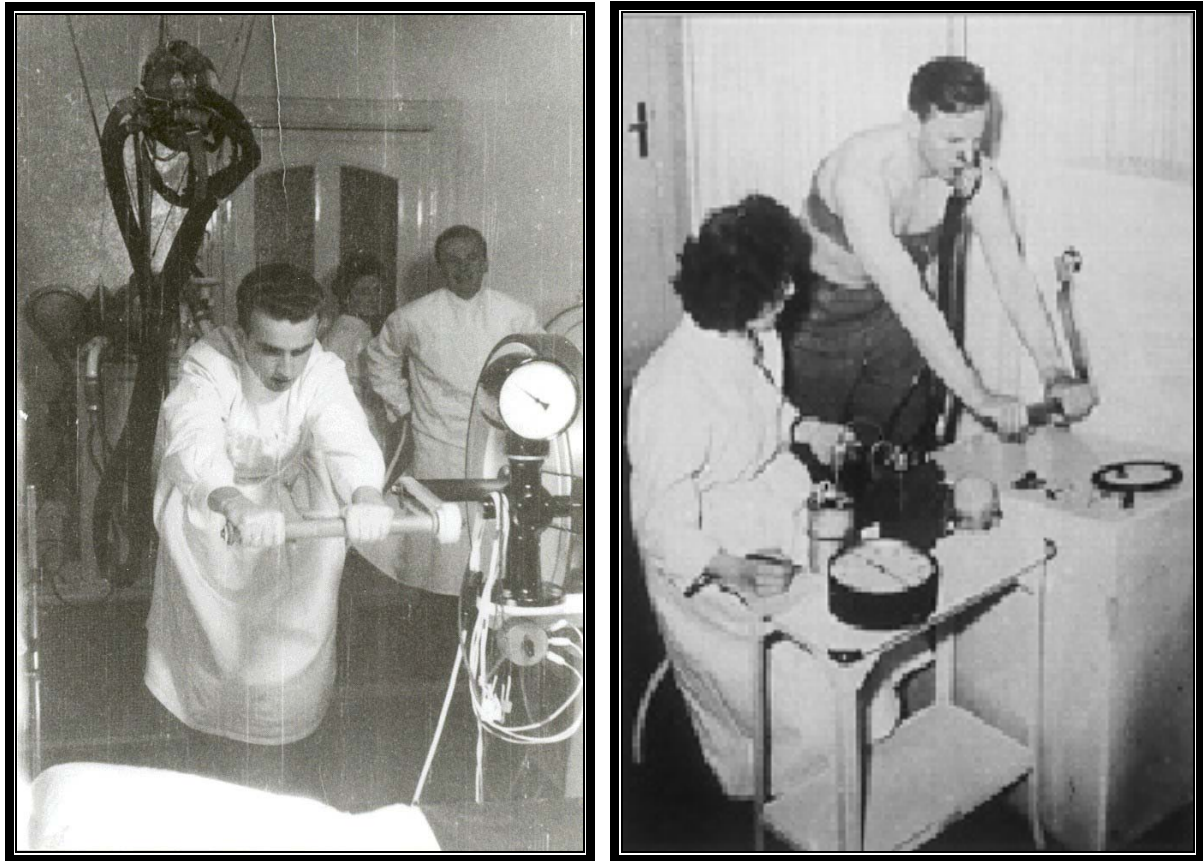


Abb. 27 a, b:

- a) **Cand. med. Paul E. NOWACKI 1959 bei der Handkurbelergometrie am Dargatz-Wirbelstrom-Ergometer der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle in West-Berlin. Im Hintergrund Dr. H. MELLEROWICZ und die Assistentin L. KABISCH.**
- b) **Priv.-Doz. Dr. med. Harald MELLEROWICZ mit seiner Assistentin Lucigerd KABISCH bei einem Handdrehkurbelarbeits-Selbstversuch mit dem *Lauckner*-Ergometer. Erste Gasstoffwechseluntersuchungen. Die Herzfrequenz wird noch über ein Stetoskop mit einem 1,20 m langen Plastikslauch gemessen, welches mit einem Gummiband über der Herzspitze fest fixiert ist. Die Zeit von 10 Herzschlägen wird per Hand gestoppt. Die Genauigkeit entspricht der elektrokardiographischen Registrierung mit $\pm 1,7 \%$, z. B. bei einer Hf $180 \pm 3/\text{min}$.**

Für die grundlegenden **spiroergometrischen Untersuchungen** hatte sich dann in Berlin der **Versuchsaufbau** von **NOWACKI** bewährt (Abb. 28).



Abb. 28: Spiroergometrie-Messplatz in West-Berlin 1959 nach einem Aufbau von **NOWACKI**. Der Proband bei der Drehkurbelarbeit am *Lauckner-Ergometer* atmet über eine offene Gasuhr. Die Messung des O_2 - und CO_2 -Gehalts der Expirationsluft erfolgt mit den Geräten „Uras“ und „Magnos“ der Fa. *Hartmann & Braun*, die im 2. Weltkrieg in deutschen U-Booten zum Einsatz kamen. Im Vordergrund P. E. NOWACKI beim Registrieren der Werte im Minutenabstand.

Der **Proband** musste durch ein **Federventil** atmen, das auch bei Atemminutenvolumina von 80 bis 100 l keinen erheblichen Atemwiderstand bot. Der Durchmesser der Ventilöffnung betrug 18 mm. Das Ventil hat die Form eines umgekehrten U, an dessen Basis sich ein Stutzen für das Aufsetzen eines Kautschukmundstücks befindet. Das Mundstück verhindert das Einatmen von Nebenluft. Die Nasenatmung wurde durch eine Klemme vermieden.

Die **Einatmung** erfolgte über eine das Atemminutenvolumen fortlaufend anzeigende „*trockene*“ **Gasuhr** der Fa. *Hartmann & Braun*, Frankfurt/M., von der auch die Atemfrequenz abgelesen werden konnte. Durch einen 2 m langen Gummischlauch von 2 cm Durchmesser war die Uhr mit dem Ventil verbunden. Die Ausatmung erfolgte in diesen

Atemschlauch. In das Ende dieses Schlauches wurde ein 50 cm langer Plastikschlauch, der in seinem unteren Drittel vielfach gelocht war, gesteckt.

Dieser „**Lochschlauch**“ ermöglicht das Ansaugen von genügend gemischter Expirationsluft, wie die Messungen zeigten. Das Ansaugen erfolgte durch eine in den „**Uras**“ eingebaute Pumpe, die auf eine Sauggeschwindigkeit von 60 l in der Stunde eingestellt wurde. Die Analysenluft musste ein 15 cm langes, luftdicht geschlossenes Glasrohr (1,5 cm Querschnitt) passieren, das mit Calciumchlorid (CaCl_2) zur Trocknung gefüllt war.

Zur Bestimmung des **Sauerstoffverbrauchs** wurde der Sauerstoffmesser „**Magnos 5**“ der Fa. Hartmann & Braun, Frankfurt/M., benutzt. Dieser arbeitet nach folgendem **Prinzip**: Der O_2 -Gehalt der Expirationsluft kann auch auf Grund des **Paramagnetismus** des Sauerstoffs und seiner Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt werden. Die übrigen Gase der Luft sind im Gegensatz zum Sauerstoff diamagnetisch und werden von einem Magnetfeld abgestoßen. Wird der Sauerstoff der Luft in das Feld eines kräftigen Magneten gebracht, sammelt er sich entsprechend Verlauf und Dichte der Kraftlinien an. Bringt man einen elektrisch geheizten Draht in das Magnetfeld (am zweckmäßigsten an der Stelle der größten Änderung der Kraftdichte), nimmt in Folge der Erwärmung der Paramagnetismus des Sauerstoffs ab. Das erwärmte O_2 wird von dem kälteren noch stärker paramagnetischen O_2 verdrängt. Es entsteht so eine stetige Strömung, ein „magnetischer Wind“, dessen Geschwindigkeit dem Sauerstoffgehalt des Luftgemisches proportional ist. Die durch die Strömung verursachte Abkühlung des Heizdrahtes führt zu einer messbaren Änderung seines elektrischen Widerstandes. Die Messung der Widerstandsänderung ermöglicht eine unmittelbare Bestimmung des O_2 -Gehaltes in Vol.%. Die Messgenauigkeit ist wesentlich von der Erhaltung einer konstanten Temperatur in der Messkammer abhängig. Sie beträgt $\pm 0,14 \%$ nach Angaben der Fa. **Hartmann & Braun**.

Die gleiche Firma liefert auch den „**Uras M**“ zur Bestimmung des **Kohlendioxidgehaltes** der Expirationsluft. Die Messung erfolgt nach dem **Prinzip** der **Absorption infraroter Strahlen**. CO_2 absorbiert bestimmte Bereiche aus dem Infrarotspektrum, sog. „Absorptionsbanden“. Daraus resultiert eine Abnahme der Strahlungsintensität, die proportional der Konzentration an CO_2 ist. Die Messgenauigkeit wird von der herstellenden Firma mit $\pm 0,2 \%$ angegeben (bei einem Messbereich von 0 – 10 % CO_2).

Die **Anzeigeverzögerung** bei Konzentrationsänderungen betrug bei der Versuchsanordnung von **MELLEROWICZ, NOWACKI** 1961 für CO_2 40 Sekunden. Die reine apparative Anzeigeverzögerung beträgt nach Angaben der Firma für den „Uras M“ $< 1/10$ s, für den „Magnos 5“ 8 s. Die restliche Verzögerungszeit ergibt sich aus der Ansaugzeit der

Expirationsluft in den zuführenden Schläuchen. Diese Anzeigeverzögerung ist bei der Beurteilung der Anlauf- und Erholungsphasen der Kurven zu berücksichtigen. Mit Hilfe der **Mikro-Scholander-Methode** analysierten die Autoren die **Gasproben** vergleichend, um eine Kontrolle der Anzeigegenauigkeit zu erhalten.

Nachdem der **Proband an das Messsystem** angeschlossen war, wurde gewartet, bis er sich an die veränderten Atmungsbedingungen gewöhnt und die Anzeige sich auf einen bleibenden Wert eingestellt hatte. Im Abstand von je einer Minute folgten dann noch 3 Ruhemessungen. Die **Bestimmungen** der Vorstartwerte erfolgte stehend, bzw. sitzend oder liegend. Die Ablesung des **Atemminutenvolumens**, der **Atemfrequenz** und des **O₂- und CO₂-Gehaltes** der Expirationsluft erfolgte in Minutenabständen, nach Beendigung der Arbeit noch während einer Erholungszeit von 10 Minuten. Letztere ist heute aus ökonomischen Gründen kaum noch vertretbar.

Diese ausführliche **Darstellung** der damals zu beachtenden **methodischen Einzelheiten** soll zeigen, welche diesbezüglichen Erleichterungen bei der körperlichen und kardiorespiratorischen Leistungsdiagnostik die modernste apparative computerisierte Technik zu Beginn des 21. Jahrhunderts gebracht hat.

Die **vergleichenden Untersuchungen** von Atem- und Kreislauffunktionen bei physikalisch gleicher ergometrischer Arbeit im Stehen (Abb. 29 a), Sitzen (Abb. 29 b) und Liegen (Abb. 29 c) von **MELLEROWICZ, NOWACKI** 1961 gehören noch heute zur leistungsmedizinisch-spiroergometrischen Standardliteratur.

Das gleiche gilt für die entsprechenden Vergleiche bei erschöpfenden Ergometrien, die **NOWACKI** im Rahmen seiner Aufgaben als ‚Freier wissenschaftlicher Mitarbeiter‘ durchführte und grafisch darstellte. Die Ergebnisse wurden von **GALLE, MELLEROWICZ** 1962 im Sportarzt publiziert.

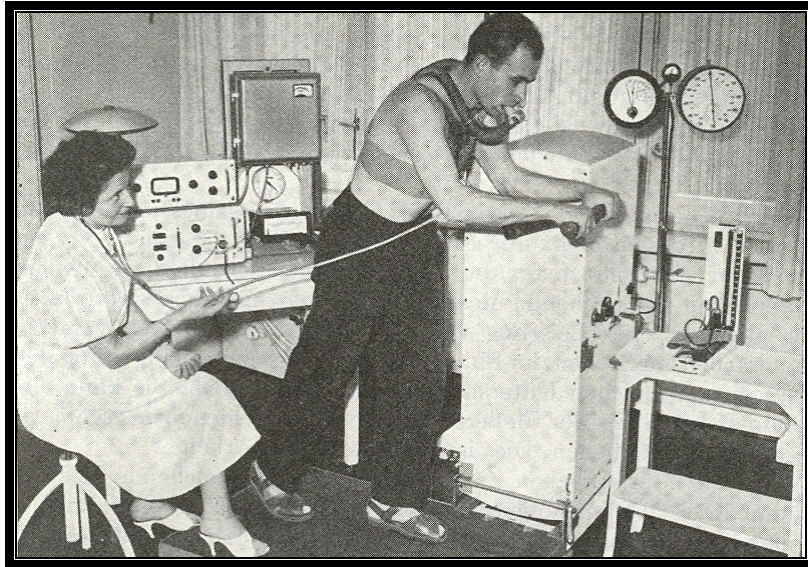


Abb. 29 a: Versuchsanordnung bei ergometrischer Handkurbelarbeit im Stehen mit dem „Lauckner-Universal-Ergometer“ sowie den Gasstoffwechsel analyseapparaturen „Uras“ und „Magnos“ von HARTMANN & BRAUN.



Abb. 29 b: Versuchsanordnung bei ergometrischer Fußkurbelarbeit im Sitzen mit dem „Lauckner-Universal-Ergometer“ sowie den Gasstoffwechsel analyseapparaturen „Uras“ und „Magnos“ von HARTMANN & BRAUN.

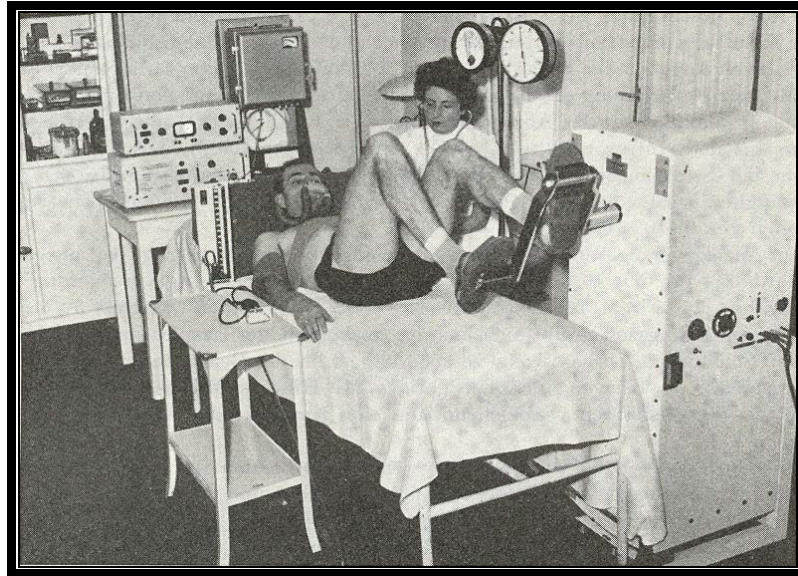


Abb. 29 c: Versuchsanordnung bei ergometrischer Fußkurbelarbeit im Liegen mit dem „Lauckner-Universal-Ergometer“ und den Gasstoffwechsel analyseapparaturen „Uras“ und „Magnos“ von HARTMANN & BRAUN.

Die **Berliner sportmedizinischen Untersuchungen** von SportlernInnen und die leistungsphysiologischen Forschungsarbeiten von **MELLEROWICZ, NOWACKI** 1962, 1975, 1979 mit dem **offenen Spiroergometriesystem** trugen ganz wesentlich dazu bei, dass sich diese Verfahren in den 60er und 70er Jahren in der deutschen Sportmedizin als *„Methoden der Wahl“* vor allem im Spitzensport durchgesetzt haben.

Der entscheidende Fortschritt für die Leistungsdiagnostik im offenen System ist aber dem systematischen Ausbau der *Pneumotachographie* zu verdanken.

Die erste Konstruktion und Beschreibung eines Pneumotachographen erfolgte durch **FLEISCH** 1925. Das Prinzip des Pneumotachographen beruht auf dem *Hagen-Poiseuillschen* Gesetz, nach dem bei laminarer Strömung in einem engen, starren Rohr der Durchfluss von Flüssigkeit oder Luft dem Energieverlust pro Längeneinheit proportional ist. Die fortlaufende Registrierung dieses Energieverlustes, d. h. des Druckunterschieds zwischen zwei Punkten der Röhre, liefert eine Differentialkurve, deren Ordinatenwerte die Geschwindigkeit des Luftstromes – also das Volumen pro Zeiteinheit – darstellen (**FLEISCH** 1961).

Die lineare Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Druckunterschied ist aber nur dann gesichert, wenn keine Wirbel auftreten.

Im Pneumotachographen wird eine Wirbelbildung dadurch verhindert, dass der Luftstrom auf eine große Zahl von engen parallel geschalteten Röhren aufgeteilt wird (Abb. 30 a, b).

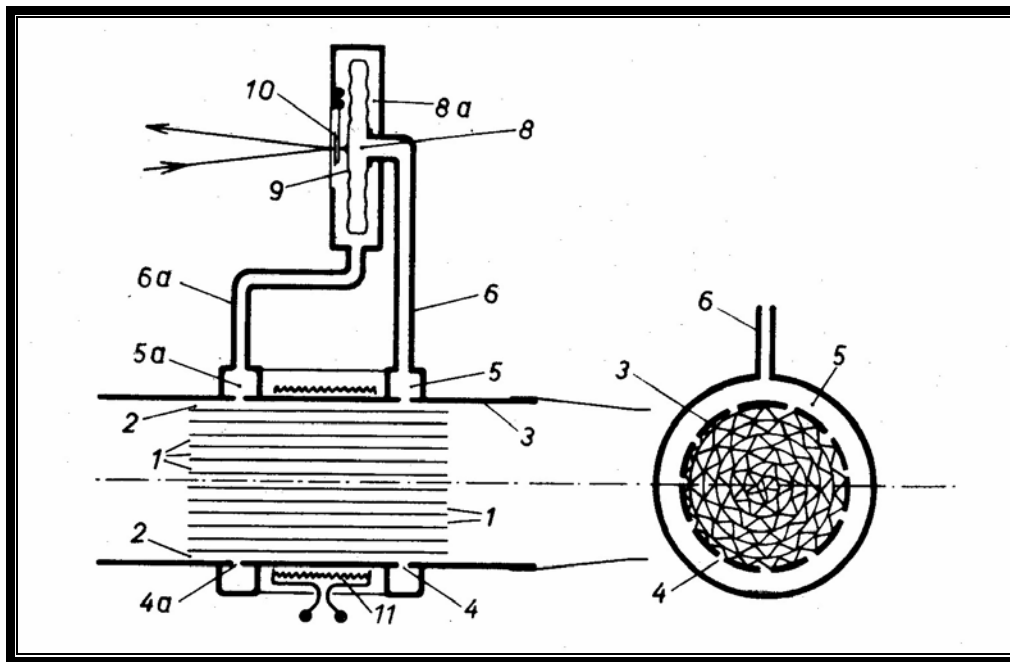


Abb. 30 a: Schematischer Längs- und Querschnitt des Pneumotachographen von FLEISCH.

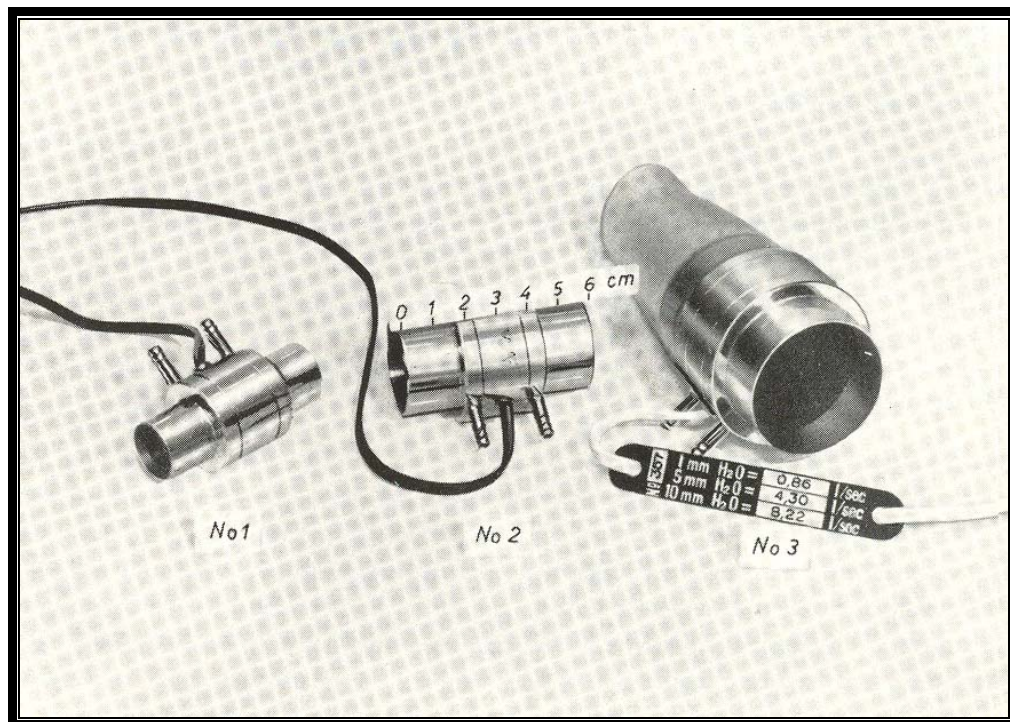


Abb. 30 b: 3 verschiedene Modelle des Pneumotachographen nach FLEISCH 1961.

An der im Frühjahr 1968 in Ratzeburg gegründeten Ruderakademie durch Dr. h.c. Karl **ADAM** und im parallel hierzu aufgebauten *„Sportmedizinischen Forschungs- und Untersuchungszentrum“* durch den Assistenzarzt der I. Medizinischen Klinik der Medizinischen Akademie Lübeck, Dr. med. Paul E. **NOWACKI**, konnte der **erste Spiroergometrische Messplatz** der **Firma E. Jaeger/Würzburg** aufgestellt werden (Abb. 31).

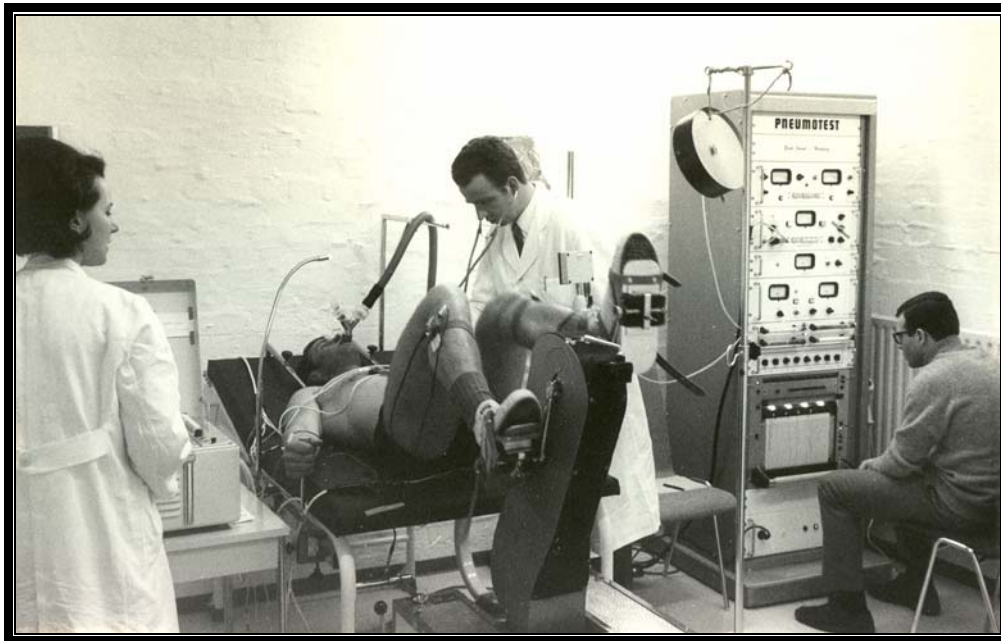


Abb. 31: Einsatz des 1968 technisch am besten entwickelten pneumotachographisch im offenen System registrierenden Spiroergometrie-Messplatzes der Fa. E. Jaeger/Würzburg im Sportmedizinischen Labor – primär Kellerräume! – der Ruderakademie Ratzeburg
Spiroergometrie im Liegen. Dr. NOWACKI bei der Blutdruckmessung, Frau NOWACKI registriert das Ergo-EKG, Doktorand KRAUSE bedient den Messplatz.

Dieser erstmals in der Bundesrepublik Deutschland für die sportmedizinische Leistungsdiagnostik eingesetzte neue Apparat registrierte die Atemgrößen nach dem pneumotachographischen Prinzip.

So konnten mit der **modernsten Messtechnik** an den **Ruderern des Deutschlandachters** unmittelbar **nach** ihrem **Höhentraining** auf dem Silvretta-Stausee in Österreich (2040 m) und vor ihrem **Olympiasieg in Mexico-City 1968** in 2240 m Höhe erstmals bei den

leistungsstärksten Athleten mit einer neuen Ergometriemethode bei maximalen fahrradergometrischen **Belastungsstufen** von **450 bis 500 Watt Atemminutenvolumina** von **150 bis 200 l BTPS** mit **maximalen O₂-Aufnahmen** über **6,0 l STPD** (NOWACKI, KRAUSE, ADAM, RULFFS 1971) gemessen werden.

Ein **Hauptvorteil** des Messplatzes war die komplikationslose **Transportmöglichkeit** (z. B. Ratzeburg → Silvretta-Stausee und weiter zu den EM nach Klagenfurt, Kopenhagen, u. a. Einsatzplätzen). Die Abb. 32 zeigt den kombinierten Aufbau von Ergometer, EKG-Apparat und Pneumotest.



Abb. 32: Spiroergometrischer Messplatz nach E. Jaeger/Würzburg
Einsatzort: Hotel Silvretta-Stausee in 2045 m Höhe
Testperson: Johann Färber, Europa- (1969), Welt- (1970), Europameister (1971) und Olympiasieger 1972 im Vierer m. Stm.
Untersuchungsteam: Rudernationalmannschaftsarzt Dr. Paul E. NOWACKI, Sportmedizinische Funktionsassistentin Doralies NOWACKI, Doktorand Rolfdieter KRAUSE, Medizinische Akademie Lübeck (Dissertation 1971).

Das **Blockdiagramm** zur ergospirometrischen Messung im offenen System mit dem Gerät Pneumotest zeigt die technisch-methodische Verknüpfung bei der Registrierung der biologischen Leistungsdaten (Abb. 33).

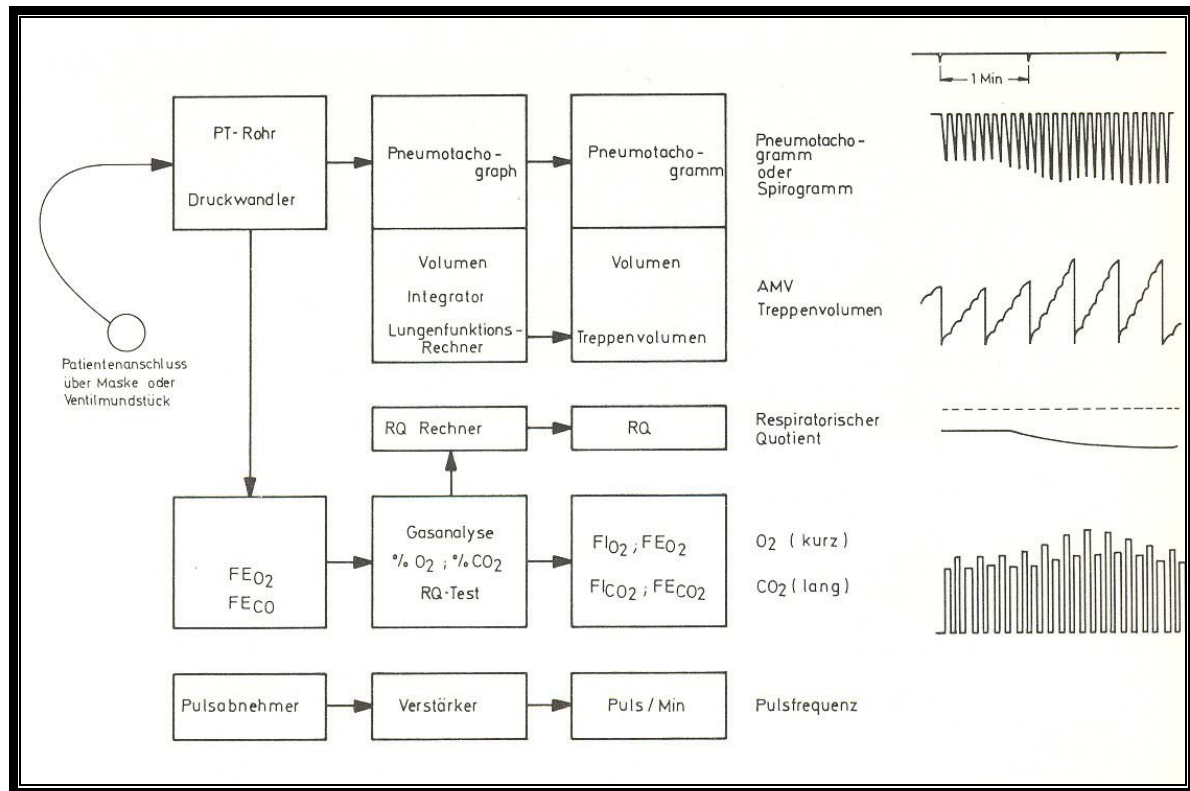


Abb. 33: Blockdiagramm zur ergospirometrischen Messung im offenen System mit dem Pneumotest der Fa. E. Jaeger/Würzburg.

Die **Anordnung** der **Ventile** am **Mundstück** bzw. der **Atemmaske** – damalige neue Entwicklungen mit halbierten Widerständen – ermöglicht ein totraumfreies Atmen. Der Widerstand des Pneumotachographenrohres beträgt 3,6 mm WS/l/s; die Linearität reicht bis 15 l/s, so dass auch die größten Atemvolumina beim Menschen mit Volumenflüssen von 5 bis 7 l/s sicher erfasst werden können. Die **Registrierung** des **AMV** erfolgt unter BTPS-Bedingungen, da keine nennenswerte Abkühlung der Ausatemungsluft auf dem Weg vom Mundstück zum Messrohr über den 1,0 bis 1,5 m langen leichten Atmungsschlauch erfolgt. Der Ausgang des Pneumotachographenrohres mündet im **Exspirations-Sammelbeutel**, einem Plastiksack, der fortlaufend mit etwa 3 – 4 Ausatemzügen gefüllt ist. Aus diesem Sammelbeutel werden **fortlaufend Gasproben** in den angeschlossenen Gas-Analysator gepumpt.

Die **Sauerstoff-** und **Kohlendioxidkonzentrationen** werden als Potentialdifferenz zur Einatemungsluft unabhängig von der Umgebungstemperatur und dem Luftdruck – ein sehr großer Vorteil! – nach der **Wärmeleitmethode** mit einer Anzeigeverzögerung von 30 s (Zufuhrverzögerung 20 s + 10 s Zeitkonstante der Messung) und einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ Vol. Prozent für CO₂ und O₂ gemessen.

Der Differenzdruck, der im Pneumotachographenrohr entsteht, wird einer Differentialdruckwandlerdose zugeführt. Nach entsprechender Verstärkung wird das Pneumotachogramm in einem Analogrechner elektronisch integriert. Das **AMV** wird als **Treppenkurve** registriert, die nach jeder halben Minute auf die Grundlinie zurückspringt.

Die Anzahl der Stufen von zwei Treppenkurven entspricht der **Atemfrequenz** ($AF \cdot \text{min}^{-1}$). Die Eichung für die AMV-Messung erfolgt über eine Pumpe (1,0 l). Durch Umschaltung in verschiedene Messbereiche (MB 1, 2, 4, 8) und entsprechende Eichung (z. B. 1 cm Ausschlag auf dem Registrierpapier in MB 1 = 12 l, in MB 2 = 24 l, in MB 4 = 48 l und in MB 8 = 96 l) kann man sich während des Versuches dem steigenden Ventilationsaufwand des Athleten anpassen.

Eine technisch einwandfreie **Originalregistrierung** unter **Hypoxiebedingungen** (Abb. 34) bei dem zu dieser Zeit **leistungsstärksten Ruderer** der BRD (P.B., 21 J, 196 cm, 104 kg) kurz vor der Abfahrt zu den EM in Kopenhagen 1971.

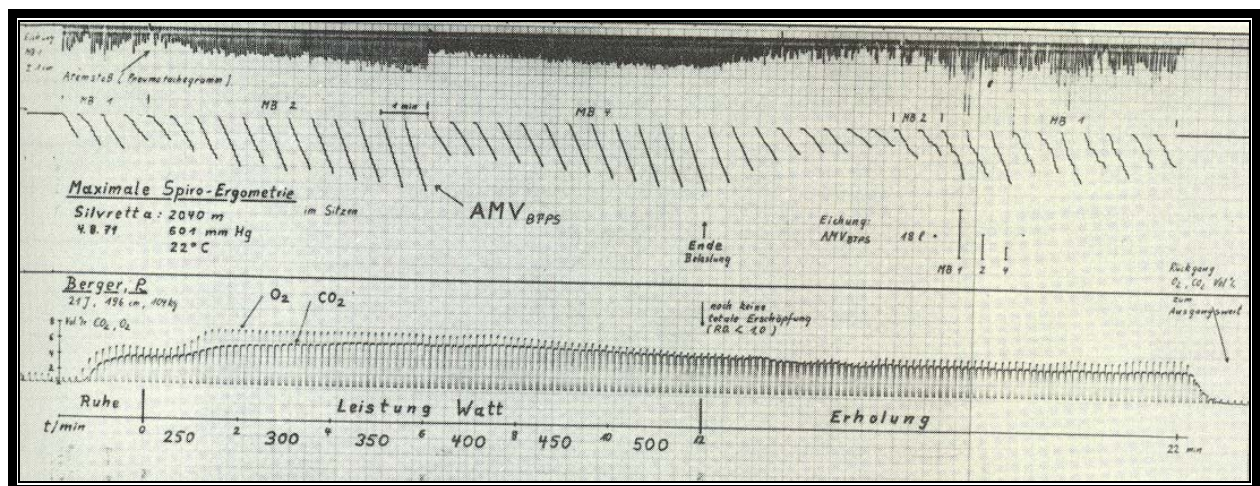


Abb. 34: Originalregistrierung einer maximalen Spiroergometrie nach dem pneumotachographischen Prinzip bei einem sehr leistungsstarken Elite-Ruderer während eines Höhentrainingslagers am Silvretta-Stausee in 2045 m Höhe (Untersuchungsraum im Hotel Silvrettasee) (nach NOWACKI, publiziert 1977).

Die **Auswertung** der **Kurven** für das Atemminutenvolumen und die Atemfrequenz, so wie für die dazugehörigen CO₂- und O₂-Konzentrationen mit der Berechnung der davon abhängigen Parameter und **Dokumentation** derselben in einer **Tabelle** (Abb. 35) erforderte damals noch einmal einen **Zeitaufwand** von ca. **30 Minuten**.

Maximale Spiro - Ergometrie im Sitzen (pneumotachographisch)																			
NAME <u>Berger</u>		Geb. <u>16. 10. 49</u>		Untersuchungstag <u>4. 8. 71</u>		Luftdruck: <u>601 mm Hg</u>		Umrechnungsfaktoren											
VORNAME <u>Peter</u>		Größe <u>196 cm</u>		Ort <u>Silvretta 2040 m</u>		Temp.: <u>22°C</u>		STPD (0°) : <u>0,6418</u>											
VEREIN <u>RV Neptun Konstanz</u>		Gewicht <u>104 kg</u>		Vitalkapazität: <u>7000 ml</u>		rel. Luftfeuchtigk.:		BTPS (37°) :											
Zeit min	Watt	RR	Hi	% O ₂	% CO ₂	RQ	AMV (LTPS)	AMV (BTPS)	AMV (STPD)	O ₂ ccm	CO ₂ ccm	O ₂ Puls	AA	Af	AZV (BTPS)	O ₂ Schuld	EKG	Bemerk.	
0	<u>Ruhe</u>	<u>130/90</u>	<u>60</u>				<u>O₂/kg</u>												
0	<u>"</u>	<u>150/90</u>	<u>71</u>	<u>4,8</u>	<u>3,8</u>	<u>0,79</u>	<u>6,4</u>	<u>216</u>	<u>139</u>	<u>667</u>	<u>528</u>	<u>9,4</u>	<u>32,4</u>	<u>16</u>	<u>1350</u>		<u>o.B.</u>		
1	<u>250</u>		<u>120</u>	<u>7,4</u>	<u>5,0</u>	<u>0,68</u>	<u>20,9</u>	<u>45,6</u>	<u>29,3</u>	<u>2168</u>	<u>1465</u>	<u>18,1</u>	<u>21,0</u>	<u>14</u>	<u>3257</u>		<u>"</u>		
2	<u>250</u>		<u>124</u>	<u>7,4</u>	<u>5,4</u>	<u>0,73</u>	<u>31,3</u>	<u>68,5</u>	<u>44,0</u>	<u>3256</u>	<u>2376</u>	<u>26,3</u>	<u>21,0</u>	<u>19</u>	<u>3605</u>		<u>"</u>		
3	<u>300</u>		<u>134</u>	<u>7,4</u>	<u>5,6</u>	<u>0,76</u>	<u>34,0</u>	<u>74,4</u>	<u>47,8</u>	<u>3537</u>	<u>2677</u>	<u>26,4</u>	<u>21,0</u>	<u>19</u>	<u>3916</u>		<u>"</u>		
4	<u>300</u>		<u>135</u>	<u>7,4</u>	<u>5,9</u>	<u>0,80</u>	<u>36,1</u>	<u>79,2</u>	<u>50,8</u>	<u>3759</u>	<u>2997</u>	<u>27,8</u>	<u>21,1</u>	<u>19</u>	<u>4168</u>		<u>"</u>		
5	<u>350</u>		<u>145</u>	<u>7,4</u>	<u>5,9</u>	<u>0,80</u>	<u>41,6</u>	<u>91,2</u>	<u>58,5</u>	<u>4329</u>	<u>3452</u>	<u>29,9</u>	<u>21,1</u>	<u>20</u>	<u>4560</u>		<u>"</u>		
6	<u>350</u>		<u>148</u>	<u>7,2</u>	<u>5,9</u>	<u>0,82</u>	<u>45,8</u>	<u>103,2</u>	<u>66,2</u>	<u>4766</u>	<u>3906</u>	<u>32,2</u>	<u>21,7</u>	<u>23</u>	<u>4487</u>		<u>"</u>		
7	<u>400</u>		<u>156</u>	<u>7,4</u>	<u>6,0</u>	<u>0,81</u>	<u>48,2</u>	<u>105,6</u>	<u>67,8</u>	<u>5017</u>	<u>4068</u>	<u>32,2</u>	<u>21,1</u>	<u>24</u>	<u>4400</u>		<u>"</u>		
8	<u>400</u>		<u>165</u>	<u>7,0</u>	<u>5,8</u>	<u>0,83</u>	<u>50,8</u>	<u>117,6</u>	<u>75,5</u>	<u>5285</u>	<u>4379</u>	<u>32,0</u>	<u>22,3</u>	<u>26</u>	<u>4523</u>		<u>"</u>		
9	<u>450</u>		<u>168</u>	<u>6,5</u>	<u>5,6</u>	<u>0,86</u>	<u>53,9</u>	<u>134,4</u>	<u>86,3</u>	<u>5610</u>	<u>4833</u>	<u>33,3</u>	<u>24,0</u>	<u>29</u>	<u>4635</u>		<u>"</u>		
10	<u>450</u>		<u>172</u>	<u>6,1</u>	<u>5,3</u>	<u>0,87</u>	<u>57,8</u>	<u>153,6</u>	<u>98,6</u>	<u>6015</u>	<u>5226</u>	<u>35,0</u>	<u>25,5</u>	<u>34</u>	<u>4518</u>		<u>"</u>		
11	<u>500</u>		<u>176</u>	<u>5,6</u>	<u>5,1</u>	<u>0,91</u>	<u>61,4</u>	<u>177,6</u>	<u>114,0</u>	<u>6384</u>	<u>5814</u>	<u>36,3</u>	<u>27,8</u>	<u>40</u>	<u>4440</u>		<u>"</u>		
12	<u>500</u>		<u>180</u>	<u>5,5</u>	<u>5,0</u>	<u>0,91</u>	<u>64,4</u>	<u>189,6</u>	<u>121,7</u>	<u>6694</u>	<u>6085</u>	<u>37,2</u>	<u>28,3</u>	<u>45</u>	<u>4213</u>		<u>"</u>		
13		<u>240/80</u>	<u>160</u>	<u>4,8</u>	<u>5,0</u>	<u>1,04</u>	<u>44,1</u>	<u>148,8</u>	<u>95,5</u>	<u>4584</u>	<u>4775</u>	<u>28,7</u>	<u>32,5</u>	<u>36</u>	<u>4133</u>		<u>"</u>		
14		<u>235/70</u>	<u>132</u>	<u>4,8</u>	<u>4,5</u>	<u>0,94</u>	<u>25,6</u>	<u>86,4</u>	<u>55,5</u>	<u>2664</u>	<u>2498</u>	<u>20,2</u>	<u>32,4</u>	<u>24</u>	<u>3600</u>		<u>"</u>		
15		<u>215/80</u>	<u>121</u>	<u>4,7</u>	<u>4,2</u>	<u>0,89</u>	<u>20,9</u>	<u>72,0</u>	<u>46,2</u>	<u>2171</u>	<u>1940</u>	<u>17,9</u>	<u>33,2</u>	<u>20</u>	<u>3600</u>		<u>"</u>		
16		<u>195/90</u>	<u>112</u>	<u>5,2</u>	<u>4,3</u>	<u>0,83</u>	<u>17,0</u>	<u>52,8</u>	<u>33,9</u>	<u>1763</u>	<u>1458</u>	<u>15,7</u>	<u>30,0</u>	<u>18</u>	<u>2933</u>		<u>"</u>		
17		<u>175/100</u>	<u>104</u>	<u>5,2</u>	<u>4,3</u>	<u>0,83</u>	<u>13,1</u>	<u>40,8</u>	<u>26,2</u>	<u>1362</u>	<u>1127</u>	<u>13,1</u>	<u>30,0</u>	<u>16</u>	<u>2550</u>		<u>"</u>		
18		<u>155/95</u>	<u>105</u>	<u>5,1</u>	<u>4,1</u>	<u>0,80</u>	<u>10,9</u>	<u>34,8</u>	<u>22,3</u>	<u>1137</u>	<u>914</u>	<u>10,8</u>	<u>30,6</u>	<u>15</u>	<u>2320</u>		<u>"</u>		
19		<u>150/90</u>	<u>103</u>	<u>5,0</u>	<u>4,0</u>	<u>0,80</u>	<u>10,7</u>	<u>34,8</u>	<u>22,3</u>	<u>1115</u>	<u>892</u>	<u>10,8</u>	<u>31,2</u>	<u>16</u>	<u>2175</u>		<u>"</u>		
20		<u>140/95</u>	<u>106</u>	<u>5,2</u>	<u>4,0</u>	<u>0,77</u>	<u>11,0</u>	<u>34,2</u>	<u>22,0</u>	<u>1144</u>	<u>880</u>	<u>10,8</u>	<u>29,9</u>	<u>15</u>	<u>2280</u>		<u>"</u>		
21		<u>145/90</u>	<u>108</u>	<u>5,6</u>	<u>4,2</u>	<u>0,75</u>	<u>10,4</u>	<u>30,0</u>	<u>19,3</u>	<u>1081</u>	<u>811</u>	<u>10,0</u>	<u>27,8</u>	<u>14</u>	<u>2143</u>		<u>"</u>		
22		<u>135/95</u>	<u>103</u>	<u>5,7</u>	<u>4,2</u>	<u>0,75</u>	<u>8,4</u>	<u>24,0</u>	<u>15,4</u>	<u>878</u>	<u>647</u>	<u>8,5</u>	<u>27,3</u>	<u>13</u>	<u>1846</u>		<u>"</u>		
23																<u>17.022</u>	<u>l O₂ in</u>	<u>10' Erh.</u>	
24																			
25																			

Abb. 35: Vollständige Wertetabelle einer maximalen Spiroergometrie entsprechend der in Abb. 35 dargestellten Originalkurve nach NOWACKI 1977.

Die weitere **technische Anpassung** der biologischen Registriergeräte an **computergesteuerte Rechenanlagen** erfolgte zu Beginn der 70er Jahre. So war es endlich möglich, während und unmittelbar nach der Leistungsprüfung die biologischen Leistungsdaten für eine **Sofortberatung** zur Verfügung zu haben.

Auch hier war die Firma E. Jaeger/Würzburg führend. So stellte sie ihren weiter entwickelten *„Kardiorespiratorischen Messplatz“* für die **Untersuchungen** der **Fußballnationalmannschaft** im Trainingslager Malente in Schleswig-Holstein vor der **Weltmeisterschaft 1974 in Deutschland** zur Verfügung (Abb. 36, 37).

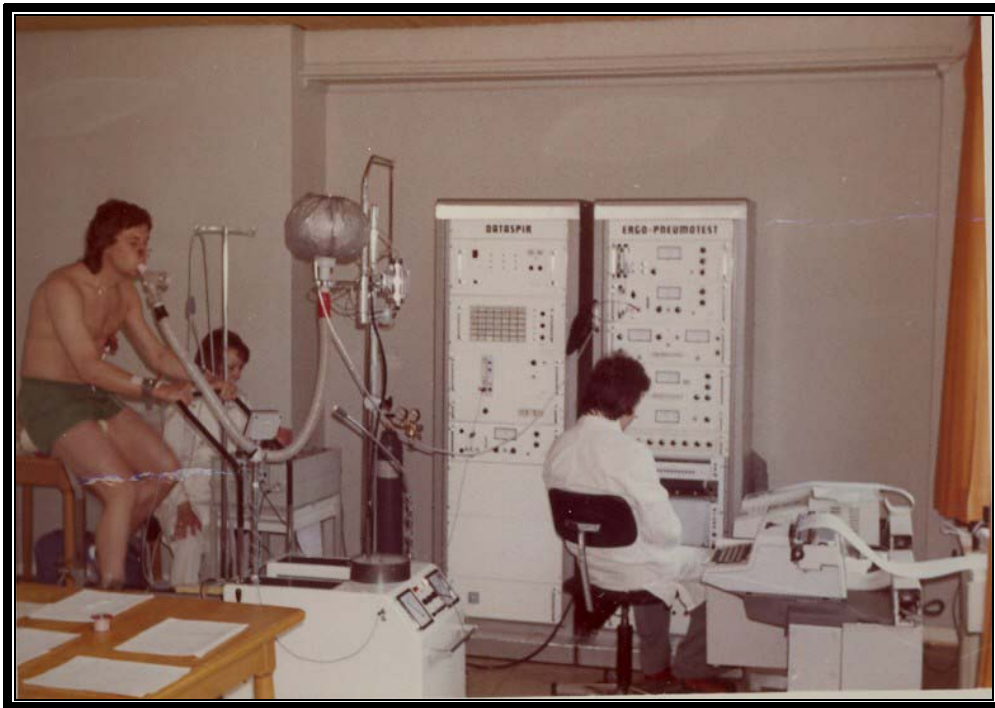


Abb. 36: Einsatz des ersten Spiroergometrischen Messplatzes mit angeschlossener Computerauswertung und Ausdruck der Leistungsdaten durch eine automatisch die 30-Sekundenwerte ausdrückende Schreibmaschine der Fa. E. Jaeger, Würzburg, im WM-Trainingslager der Deutschen Fußballnationalmannschaft 1974 in der Sportschule Malente/Schleswig-Holstein. Getestet wird der Kölner National- und Bundeliga-Mittelfeldspieler Heinz Flohe. Das Ergo-EKG schreibt die Sportmedizinische Funktionsassistentin Doralies Nowacki. Am Computer und der Schreibmaschine ein Techniker der Firma.

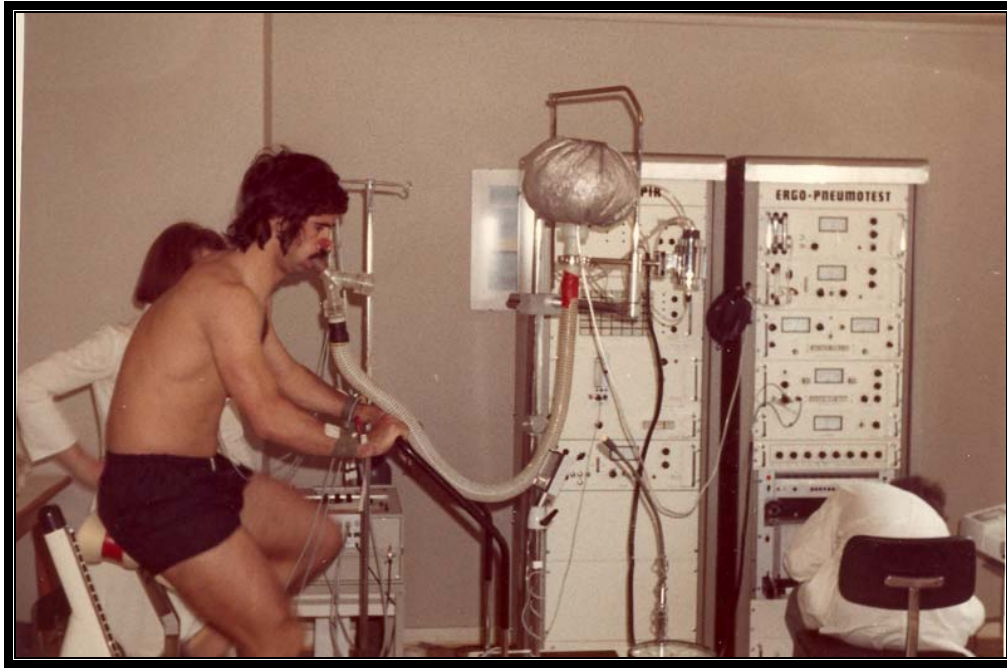


Abb. 37: Der Jahrhundert-Torjäger des Deutschen Fußballverbandes (DFB) und Fußball-Weltmeister Gerd Müller vom F.C. Bayern-München, mit 365 Toren in 427 Spielen der Bundesliga und 68 Toren in 62 Länderspielen für die Nationalmannschaft, bei der erschöpfenden Fahrrad-Spiroergometrie im WM-Trainingslager 1974 in Malente. Wie bei den meisten WM-Teilnehmern des DFB war es auch für diesen Athleten die erste leistungsmedizinische Untersuchung!

Nach der für **Deutschland** 1974 so erfolgreichen **Fußballweltmeisterschaft** – nicht zuletzt auch durch die für die Auswahl des WM-Kaders hilfreiche internistisch-leistungsmedizinische Diagnostik durch **Prof. Dr. P. E. NOWACKI** und seinem Team sowie die Berücksichtigung der konditionellen-biologischen Spielerdaten durch den Bundestrainer Helmut **SCHÖN** unter Mitwirkung des Kapitäns Franz **BECKENBAUER** – stellte die Fa. E. Jaeger, Würzburg, im Herbst 1974 ihren neu entwickelten „*Computergesteuerten kompletten Messplatz zur kardio-respiratorischen Funktionsdiagnostik*“ im Institut für Sportmedizin der **Justus-Liebig-Universität Gießen** auf (Abb. 38).

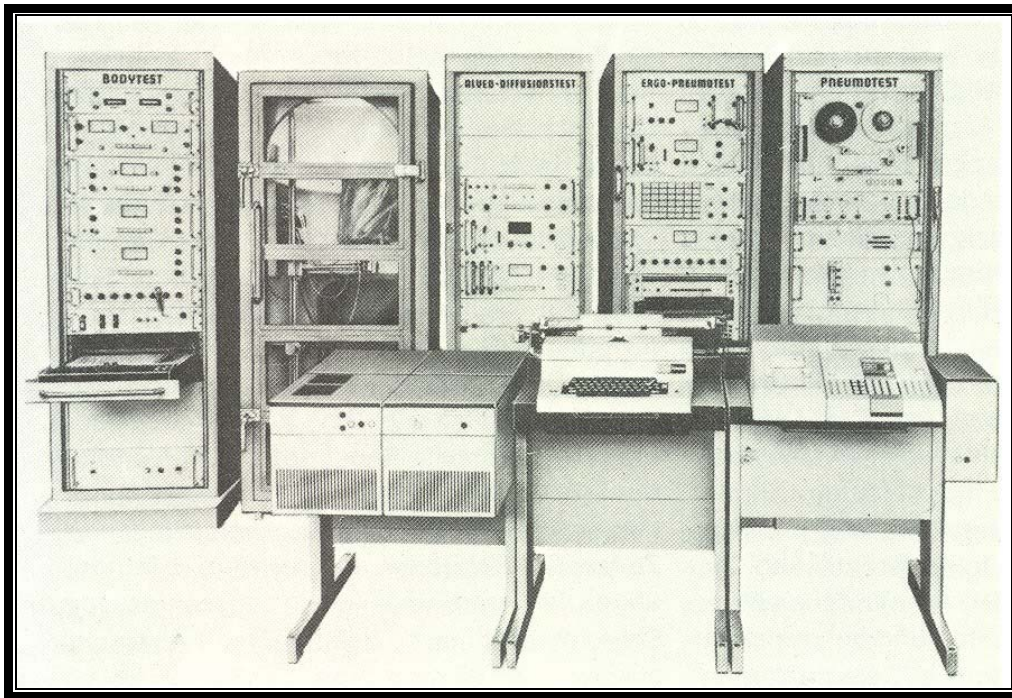


Abb. 38: “Computergesteuerter kompletter Messplatz zur kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik“ der Fa. E. Jaeger, Würzburg, im Spiroergometrie-Labor des Lehrstuhls für Sportmedizin der JLU Gießen.

Die überwiegende **Mehrzahl** der meiner **Dissertation** zugrunde liegenden leistungsmedizinischen Untersuchungen wurden von **1974** bis **2002** mit diesem Messplatz durchgeführt.

Für die Anschaffung der weiterentwickelten Spiroergometrie-Messplätze im offenen System, die nun an vielen Sportmedizinischen Instituten der Bundesrepublik Deutschland ab Ende der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts eingesetzt wurden, konnte die Gießener Universität keine Mittel zur Verfügung stellen.

Nach dem Tod des Firmeninhabers Erich Jaeger versiegte auch die besondere Förderung der Gießener Universitäts-Sportmedizin.

Dennoch gelang es Professor **NOWACKI** noch einmal, die Fußballnationalmannschaft (Vize-Weltmeister 1982) mit einem – auch durch seine Zusammenarbeit mit dem Obergeringenieur **HAMPEL** – weiterentwickelten Messplatz der Würzburger Firma vor der **WM 1982** im **Trainingslager** des Hilton-Hotels Frankfurt/Gravenbruch leistungsmedizinisch zu untersuchen (Abb. 39).

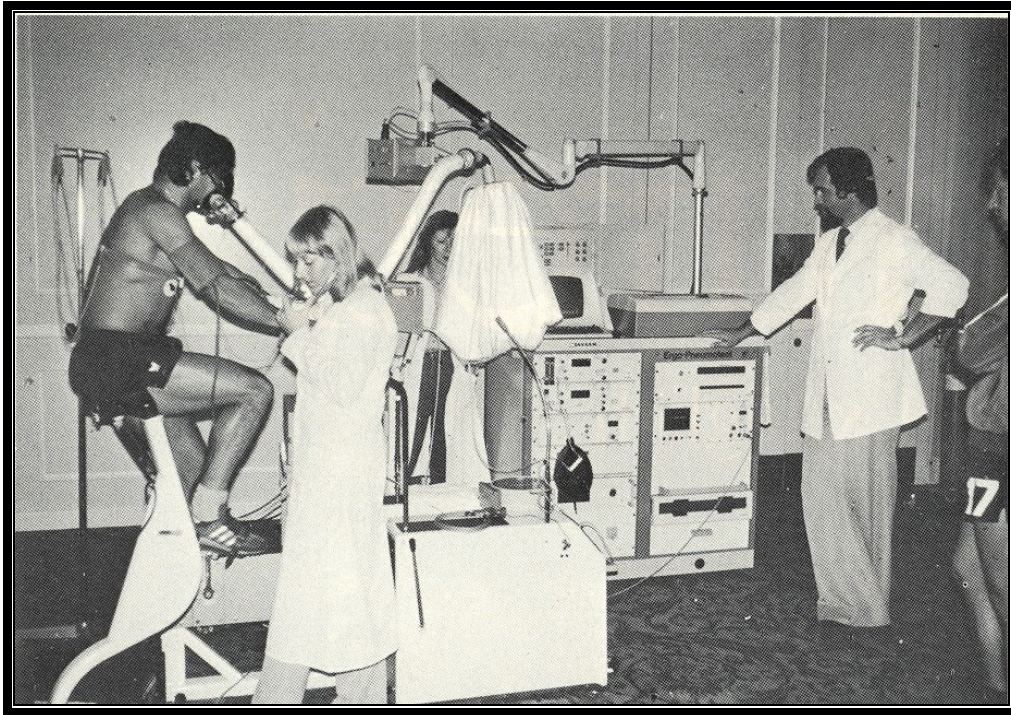


Abb. 39: Fußballnationalspieler Felix Magath vom Hamburger Sportverein (HSV) - heute Trainer der Bundesligamannschaft des VfB Stuttgart – bei der internistisch-leistungsmedizinischen Untersuchung im Trainingslager Hilton-Hotel Frankfurt/Gravenbruch im Oktober 1981 mit dem damals modernsten ‚Kompletten Messplatz zur kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik im offenen System‘ der Fa. E. Jaeger, Würzburg. Arzthelferin Roswitha Junker bei der Messung des Leistungsblutdrucks. Ein Techniker der Firma überwacht die Anlage.

Die **maximalen biologischen Leistungsdaten** der **Fußballnationalmannschaften**, gemessen an der **maximalen relativen Sauerstoffaufnahme**, hatten sich von 1974 mit dem Mittelwert $54,5 \pm 6,8$ ml bis 1981 auf $59,5 \pm 5,4$ ml $\dot{V}O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ verbessert.

Leistungsstärkster Spieler war der Stürmer des F.C. Bayern-München, Karl-Heinz Rummenigge (Abb. 40), mit einer maximalen Leistung von **1 Minute 5 W/kg KG = 400 Watt** und einer maximalen relativen Sauerstoffaufnahme, definiert als integraler Wert der **aeroben u n d anaeroben Kapazität** (NOWACKI 1977, 1987), von maximal **64,1** ml $\dot{V}O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (NOWACKI, HAFERMANN, PSIORZ 1984, Abb. 41).



Abb. 40: Erschöpfende Fahrradspiroergometrie des Fußballnationalspielers Karl-Heinz Rummenigge, F.C. Bayern-München, vor der Weltmeisterschaft 1982. Die DFB-Auswahl unterlag mit K.-H. Ru. im Endspiel gegen Italien mit 1:3 am 11. Juli 1982 in Madrid, Spanien.

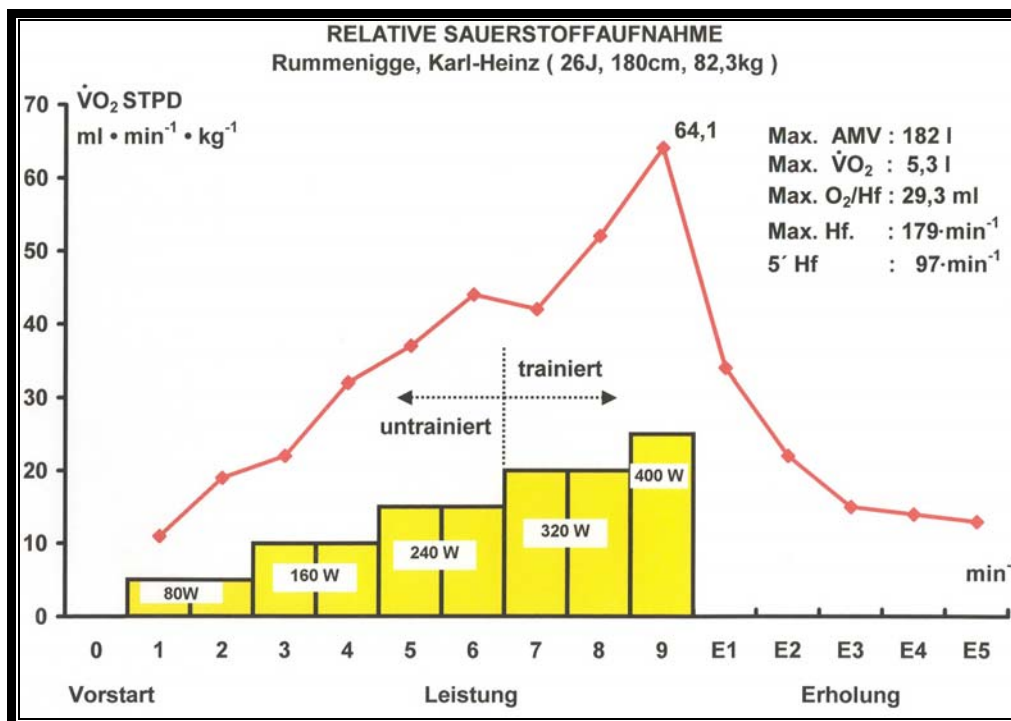


Abb. 41: Kurve der relativen Sauerstoffaufnahme vor, während und nach der erschöpfenden Spiroergometrie mit der 1 W/kg KG-Methode des Fußballnationalspielers K.-H. Ru. am 5. Oktober 1981.

Zunehmend wurden dann auch die Möglichkeiten der pneumotachographischen spirometrischen Leistungsmessung für die **sportartspezifische** – besser semispezifische – **Leistungsdiagnostik** eingesetzt (**DAL MONTE** 1989, **NOWACKI** 1994, **NEUMANN, SCHÜLER** 1994).

Die entsprechenden Untersuchungen im **Kraftraum** der **Ruderakademie Ratzeburg** Anfang der 70er Jahre (Abb. 42, Abb. 43) von **NOWACKI** u. Mitarb. 1971, **KÜCHLIN** 1975, **LÜTJOHANN** 1975, **NOWACKI** 1977 sind historisch als Pionierforschungen für entsprechende Felduntersuchungen einzustufen.

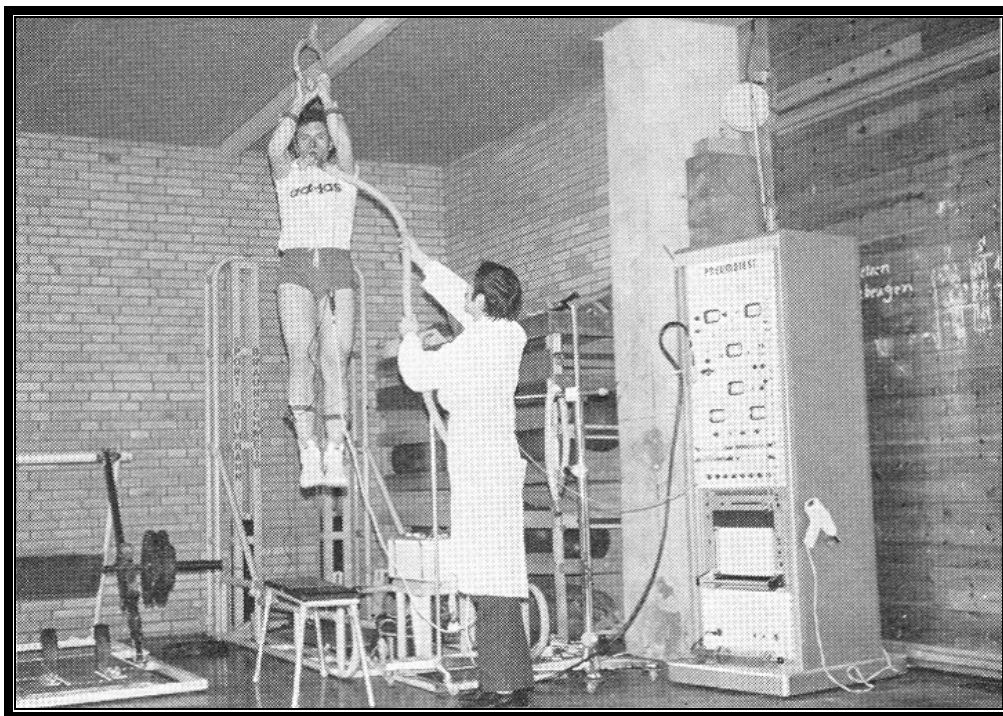


Abb. 42: **Warmmachprogramm der Ruderer in Ratzeburg 1970 – Klimmzüge bis zur Erschöpfung als Ersatz für Hangeln an den Klettertauen.**

Diese **sportartspezifischen Forschungen** wurden am Gießener Institut mit den pneumotachographischen Registrierungen der Atmung und des Gasstoffwechsels bei Radfahrern (**DANIEL** 1986, **NOWACKI, SCHNORR** 1990; Abb. 44) und **Ruderern** (**SIRSCH** 1994; Abb. 45) fortgeführt, da sie auch zunehmend von den Athleten und ihren Trainern zusätzlich zu den Standardmethoden – Fahrrad- oder Laufbandspiroergometrien mit Bestimmung der Laktatkurven – gefordert wurden.

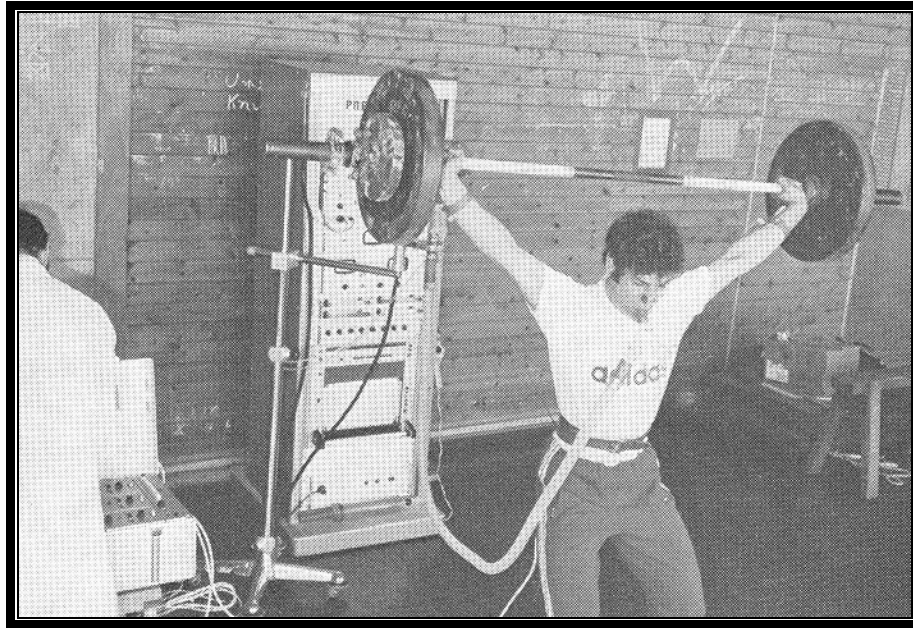


Abb. 43: Krafttraining in Ratzeburg 1970 – physiologische Untersuchungen beim beidarmigen Reißen (nach ADAM, KÜCHLIN, LÜTJOHANN, NOWACKI, 1977).



Abb. 44: 1000 m-Bahnradfahr-Olympiasieger 1984 in Los Angeles, Freddy SCHMIDTKE, beim sportartspezifischen Rennrad-Spiroergometrietest im Institut für Sportmedizin der JLU-Gießen. Der Sportstudent Ulrich DANIEL überwacht den technischen Ablauf der leistungsmedizinischen Untersuchung.



Abb. 45: Ruderergometrie mit Registrierung der Atmung und des Gasstoffwechsels mit dem Oxycon der Fa. Mijnhardt, Niederlande, am Lehrstuhl für Sportmedizin der JLU-Gießen. Im Vordergrund die MTA Sigrid Schülke bei der Registrierung des Atemminutenvolumens, der O₂- und CO₂-Konzentrationen.

Die vielfältigsten und interessantesten Umkonstruktionen allgemeiner ergometrischer Messverfahren in **sportartspezifische Belastungsmethoden** hat der Italiener **DAL MONTE** 1989 in dem großen Sportmedizinischen Leistungszentrum in **Rom** konzentriert. Dabei waren ihm auch seine ingenieurtechnischen Erfahrungen bei der Konstruktion schnellster Rennboote, die er auch selbst bei internationalen Meisterschaften steuerte, sehr nützlich.

Auch **DAL MONTE** setzte dabei die pneumotachographischen Registriermethoden im offenen System ein, wobei teilweise **sehr lange Ausatmungsschläuche** zu den Messapparaturen führten, wie dies beispielhaft hier für das **Kajak-Ergometer** (Abb. 46) und die spirometrischen Messungen beim **Windsurfen** (Abb. 47) zu sehen ist.

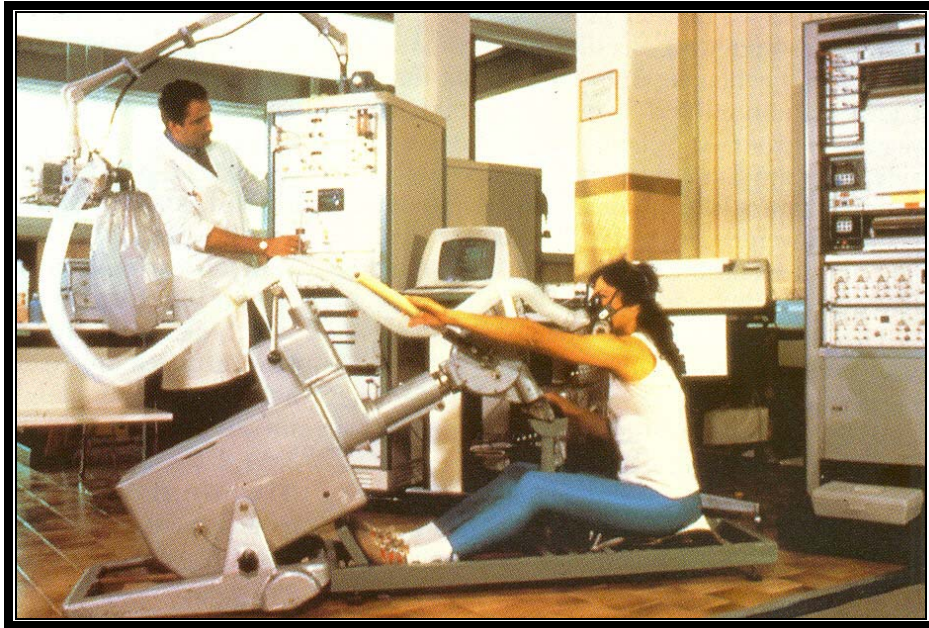


Abb. 46: Kajak-Spiroergometrie im Institut von DAL MONTE in Rom.



Abb. 47: Funktionstest eines Windsurfers mit Registrierung der kardiorespiratorischen Leistungsgrößen in einem Schwimm-Ergometer-Becken nach DAL MONTE im italienischen Leistungszentrum für Sportmedizin in Rom.

In der **Inneren Medizin** und **Kardiologie** setzten sich die Untersuchungen mit der EKG-**Registrierung** und der Messung des **Belastungsblutdruckes** bei ergometrischer Arbeit sowie ergänzt durch **blutige Kathetermessungen** durch. Die **Spiroergometrie** schien weitgehend abgelöst zu sein. Für manche klinische Bereiche blieb die Registrierung der Atmung und des Gasaustauschs während dosierter Belastungen aber weiterhin wichtig. Dazu trug auch die computergestützte Spiroergometrie bei, mit deren Hilfe der Gasaustausch in der Lunge und in den Zellen bei der Beurteilung von Leistungsanpassungen und der Belastbarkeit für die Diagnostik bei **Patienten mit schwersten Lungenerkrankungen** immer bedeutsamer wird (**SEEGER**, persönliche Mitteilung 2003).

Dies wird durch die Erfahrungen und Erfolge der letzten Jahre bei der Diagnostik und Therapie von Patienten mit schwersten Lungenerkrankungen, vor allem mit einer pulmonalen Hypertonie, in der Medizinischen Klinik II und Poliklinik (Innere Medizin/Pneumologie) des Zentrums für Innere Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen (Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Werner **SEEGER**), bestätigt.

In der **Sportmedizin** erlebt die **Spiroergometrie** in **Verbindung** mit der **Laktatmessung** bei allgemeinen und sportartspezifischen Leistungstests in den letzten Jahren eine Renaissance. Dies konnte eindrucksvoll durch Vorträge/Poster beim 37. Deutschen Kongress für Sportmedizin und Prävention, der unter dem Motto – *Prävention durch Bewegung und Sport* – stand, bestätigt werden (**NOWACKI, ARNDT** 2001, 2002).

Fast wie selbstverständlich wird heute von allen **Sportmedizinischen Arbeitskreisen** in den **Mitgliedsstaaten** der **FIMS** die **neueste spirometrische Technik** eingesetzt.

Der Industrie ist es in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts und jetzt aktuell gelungen, die **pneumotachographische Messtechnik** in immer leichter werdende Atmungsventile direkt zusammen mit der Gasanalyse zu integrieren.

Diese Technik revolutionierte die sportmedizinischen **Felduntersuchungen** – besonders im Vergleich zu den aufwändigen Douglassack-Methoden – wie die Abbildung 48 mit dem Oxycon Mobile der Fa. E. Jaeger, Würzburg, zeigt.

Mit dem neuen **Oxycon Mobile** müssen Belastungsmessungen nicht mehr mit dem Laufband- oder Fahrradergometer im Labor durchgeführt werden. Das Oxycon Mobile ist ein kompaktes, tragbares Ergospirometriesystem, welches über ein Schultergurtsystem am Probanden befestigt wird und sportartspezifische Belastungen bei fast allen Sportarten ermöglicht.

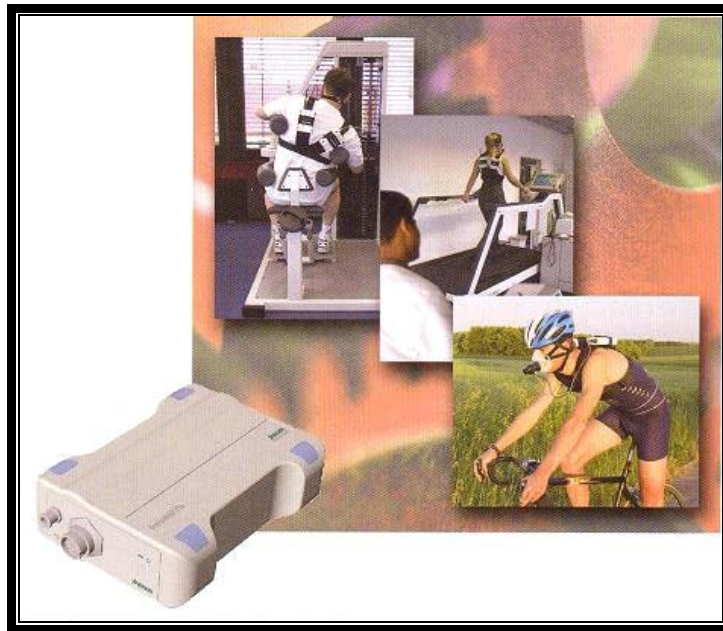


Abb. 48: Spiroergometrische Messungen mit dem Oxycon Mobile der Fa. E. Jaeger, Würzburg, und seinen in der Atemmaske/den Mundatmungsventilen mit Nasenklemme integrierten pneumotachographischen Messfühlern.

Auch das von **HOLLMANN, HETTINGER** 2000 demonstrierte Beispiel der Registrierung der Atemgase beim **Tennispielen** (Abb. 49) unterstreicht diese neue Entwicklung eindrucksvoll.



Abb. 49: Registrierung der Kohlendioxidausscheidung und Sauerstoffaufnahme beim Tennispielen mit gleichzeitiger Angabe des Energieverbrauchs in kcal bzw. kJ der Fa. Cosmed (**HOLLMANN, HETTINGER** 2000).

Auch die Messplätze in den Kliniken/Instituten wurden in den letzten Jahren zunehmend auf diese neuen Techniken umgestellt.

Ein **modernes Diagnosesystem** muss nicht nur technologisch überzeugen, sondern es muss an die heutigen Rahmenbedingungen medizinischen Handelns bestmöglich angepasst werden. Deshalb wurden die **modernsten spiroergometrischen Messplätze** so entwickelt, dass sie noch schneller, genauer und bequemer arbeiten sowie mit weniger Personal zur Bedienung auskommen.

Die neu entwickelten Messplätze der Fa. E. Jaeger, Würzburg, wie der **Oxycon Delta** (Abb. 50) und **Oxycon Pro** (Abb. 51) verfügen auch über ein ansprechendes, zukunftsorientiertes Design.



Abb. 50: Spiroergometrischer, computergesteuerter Messplatz Oxycon Delta mit dem dazugehörigen Fahrradergometer der Fa. E. Jaeger/Würzburg. Die pneumotachographische Messung erfolgt schon an der Atemmaske.

Abb. 51: Computergesteuerter Messplatz Oxycon Pro mit dem dazugehörigen Laufbandergometer der Fa. E. Jaeger/Würzburg. Die integrierte Mess-technik an der Atemmaske ist für den Läufer ein entscheidender Vorteil im Vergleich zur früheren ‚Anbindung‘ an die Messapparaturen über Atemschläuche.

Es war deshalb auch für meine **experimentelle Dissertation** ein großer Vorteil, dass ich in der **letzten Versuchsphase** auch eine **Vergleichsgruppe – Athleten 2002** – mit dem **neuesten Spiroergometriemessplatz „Oxycon Delta“** der Fa. E. Jaeger untersuchen konnte. Dies wurde über einen Leasing-Vertrag mit der Firma möglich.

Dabei erwies sich im **Vergleich** zur **Maskenatmung** die **Ventilatmung** mit integrierter pneumotachographischer Messaufnahme und Nasenklemme nach Vorversuchen als vorteilhafter für die Sportler (Abb. 52 a – d).

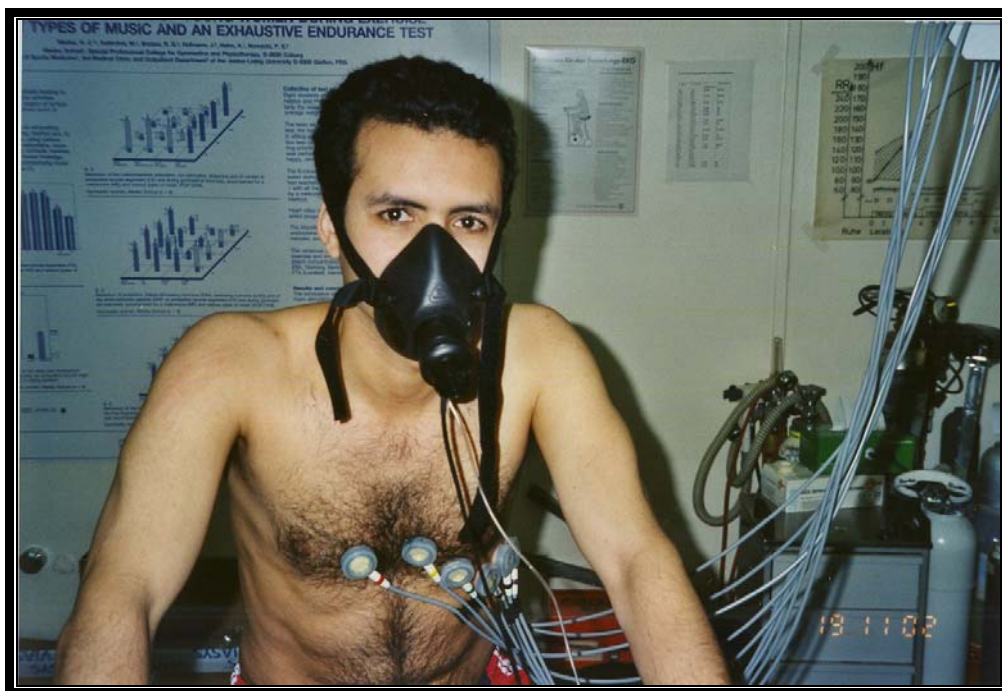


Abb. 52 a–d: Versuchsanordnungen im Spiroergometrielabor des Instituts für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.

a): Maskenatmung mit integriertem Pneumotachographenrohr.



Abb. 52 b): Voruntersuchungen zur Einarbeitung mit dem Spiroergometriemessplatz „Oxycon Delta“ der Fa. E. Jaeger, Würzburg. Im Hintergrund die alten Messschränke der Firma, die im Herbst 1974 aufgestellt wurden.



Abb. 52 c): Ventilatung mit integriertem Pneumotachographenrohr, Ableitungskabel für die Atemphase und Nasenklemme. Gleichzeitig Vorbereitung zur Blutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen für die Laktatbestimmung.

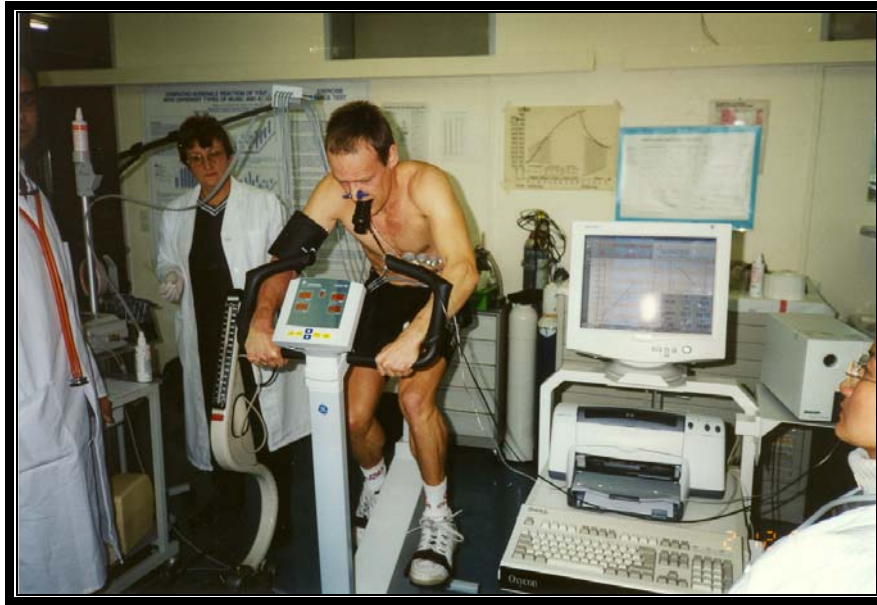


Abb. 52 d): Triathlet M. C. aus der Gruppe - Athleten 2002 – bei der erschöpfenden Spiroergometrie mit dem Oxycon Delta-Messplatz.

Die **neuen Apparaturen** und Messplätze machen es möglich, dass die spiroergometrische Leistungsdiagnostik mit der **Sofortdokumentation** aller Werte auch mit einem zahlenmäßig kleineren Untersuchungsteam auskommt (Abb. 53).



Abb. 53: Untersuchungsteam 2002 am Lehrstuhl für Sportmedizin der JLU-Gießen
Von li. nach re.: MTA Ursula Dittrich; Doktorand Yaser Elgohari, Ägypten; Magisterstudentin und Doktorandin Ning Wu, VR China;
Univ.-Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki; Patient W. L. von der Universitätsherzsporttrainingsgruppe.

Die **Entwicklung** und die **Fortschritte** der **Spiroergometrie** in **Deutschland** und **Europa** wären ohne die Forschungen **bedeutender** Sportmedizinischer Institute und ihrer **Direktoren/Leiter** nicht möglich gewesen (Abb. 54, Abb. 55).

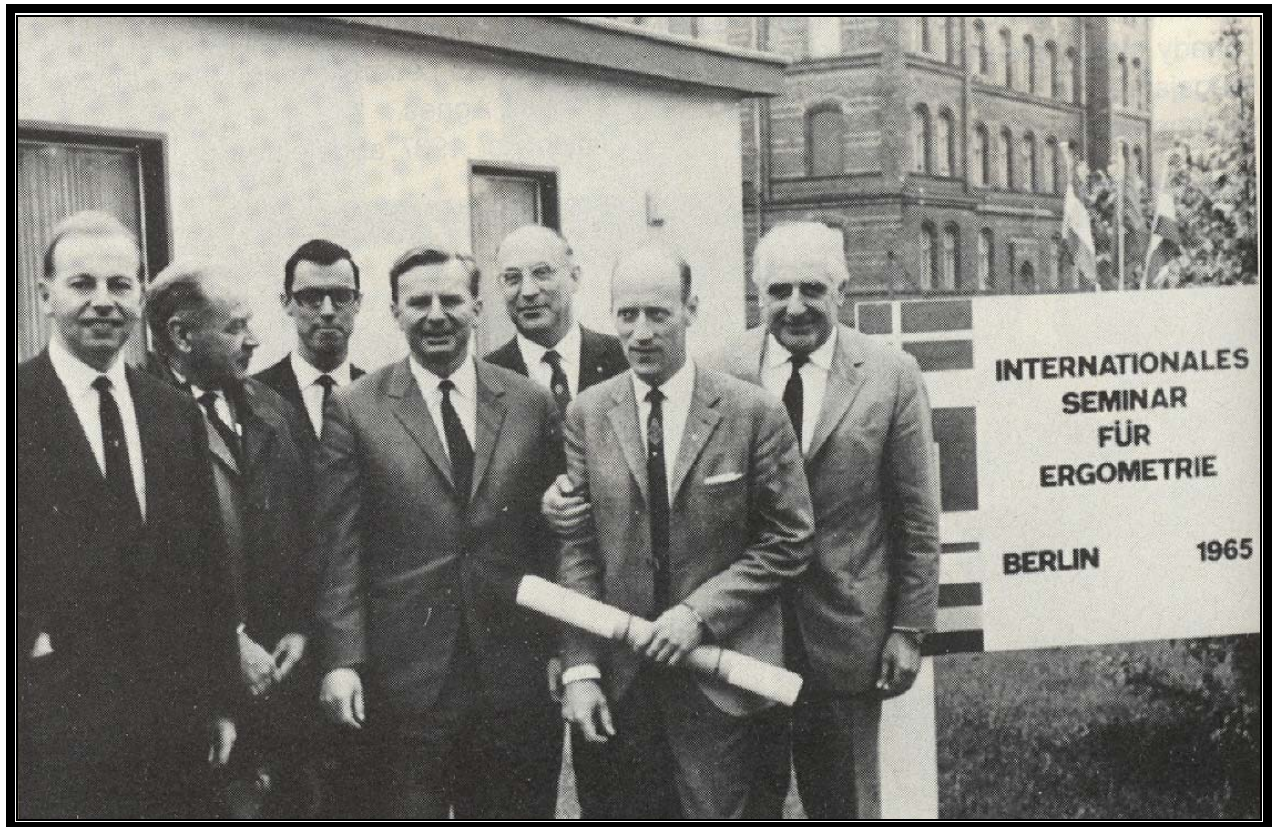


Abb. 54: **1. Internationales Seminar für Ergometrie 1965 im Berliner Institut für Leistungsmedizin.**

Von li. nach re.: Prof. Dr. W. Hollmann, Köln; Prof. Dr. Schönholzer, Bern/Schweiz; Prof Dr. M. Hebbelinck, Brüssel/Belgien; Prof. Dr. H. Mellerowicz, Berlin; Prof. Dr. E. Jokl, Lexington/USA; Prof. Dr. P. O. Åstrand, Stockholm/Schweden und Prof. Dr. H. Reindell, Freiburg/Brsg.
(Aufnahme P. E. Nowacki).



Abb. 55: Kongress St. Johann in Tirol, Österreich 1985:

„Die trainingsphysiologische und klinische Bedeutung der anaeroben Kapazität“. Referenten von li. nach re.:

Prof. Dr. Heinz Liesen, Paderborn; Prof. Dr. Hans Rieckert, Kiel; Prof. Dr. Robert Felten, Bundesinstitut für Sportwissenschaften, Köln; Prof. Dr. Wilfried Kindermann, Saarbrücken; Prof. Dr. Norbert Bachl, Wien; Prof. Dr. Wildor Hollmann, Köln; Prof. Dr. H. Weicker, Heidelberg; Prof. Dr. Paul E. Nowacki, Gießen; Prof. Dr. Josef Keul, Freiburg (Aufnahme Doralies Nowacki).

Ihnen gilt mein aufrechter **Dank**, da durch die Arbeit dieser **Pioniere der Sportmedizin** die **vorliegende Dissertation** über **quantitative** und **qualitative Reaktionen** bei erschöpfenden **Spiroergometrien** erst ermöglicht wurde.

3. METHODIK

3.1 Untersuchungsgut

Das vorliegende **Untersuchungsgut** über **quantitative** und **qualitative corporale, kardiozirkulatorische, kardiorespiratorische** sowie **metabolische Reaktionen** von **Männern während und nach** erschöpfenden **Spiroergometrien** in Abhängigkeit vom **Trainingszustand**, der **Sportart** und unterschiedlichen **Belastungsmethoden** präsentiert in der deutschsprachigen und internationalen anglo-amerikanischen sportmedizinischen Literatur die zur Zeit **umfassendste Zusammenstellung integraler Antworten** des **trainierten Organismus** auf **standardisierte Leistungen**.

Die **Untersuchungen** erfolgten in einem **Zeitraum** von **29 Jahren**, vom **April 1973** bis **Ende Dezember 2002** am **Institut für Sportwissenschaft / Professur für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen**.

Darüber hinaus wurden jeweils 8 Spiroergometrien von **Ruderern vor und nach** einem **Höhentraining** am “ **Sportmedizinischen Forschungs- und Untersuchungszentrum** “ (Leiter: Dr. med. Paul E. Nowacki) der **Ruderakademie Ratzeburg** (Direktor: Dr.phil.h.c. Karl Adam) aus dem Jahre 1970 ausgewertet.

Die **Werte** der Untersuchungen von **1970** und ab **1973** bis zum **Beginn** meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am **Lehrstuhl für Sportmedizin** der Justus - Liebig - Universität **Gießen** im **Januar 2000** wurden nach den **Archivunterlagen** mit einem speziellen, von mir entwickelten **Auswertungsbogen** (**Anhang, S. 391**), erfasst.

Ab **Januar 2000** bis **Ende Dezember 2002** wurden in Zusammenarbeit mit dem Sportmedizinischen Untersuchungsteam des Instituts **eigene experimentelle Untersuchungen** an **untrainierten Männern, trainierten Athleten** verschiedenster **Sportarten** sowie Patienten mit einer **HerzKreislauf-Erkrankung** durchgeführt. Diese breite sportmedizinische Untersuchungstätigkeit hat meine **leistungsmedizinischen Studien** im Rahmen dieser **Dissertation** sehr gefördert und unterstützt.

Insgesamt wurden die **leistungsphysiologischen Daten** von **262 Athleten** aus **32 Sportarten** im **Alter** von **16 bis 34 Jahren** kritisch analysiert und ausgewertet.

In dieser **Studie** werden aber nur **18 Sportarten von 32** verglichen, da bei den **14** anderen Sportarten weniger als **5 Probanden** untersucht wurden.

254 Untersuchungen waren erschöpfende **fahrradspiroergometrische Untersuchungen im Sitzen** nach der Gießener **1 Watt/kg KG-Methode** (**NOWACKI** 1975, 1977, 1978).

Insgesamt **18** Untersuchungen wurden vergleichend nach der **0,5 Watt/kg KG-Methode** (**NOWACKI**), der **BAL-Methode** (**Bundesausschuss für den Leistungssport**) und dem **KNIPPINGSchen Belastungsverfahren** mit jeweils **6 sehr gut trainierten Athleten** durchgeführt.

Für die besonders wichtige vergleichende Analyse mit dem **HOLLMANN-Verfahren** wurden **15** erschöpfende Fahrradspiroergometrien im Sitzen bei **15 sehr gut trainierten Athleten** durchgeführt.

16 Untersuchungen wurden **1970** mit der von **NOWACKI, ADAM** inaugurierten fahrradspiroergometrischen **Rudermethode** durchgeführt und von mir umfassend quantitativ ausgewertet.

Die abschließenden eigenen experimentellen Vergleichsuntersuchungen im **November/Dezember 2002** erfolgten mit dem *modernsten computergesteuerten spiroergometrischen Meßplatz* der **Firma E. Jaeger/Würzburg-Höchberg**, der speziell für meine Experimente von Univ. - Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki (Emeritus seit 10/2002) geleast wurde.

Damit wurden **9 sehr gut trainierte Sportler – Gruppe Athleten 2002** – jeweils nach der **1 W/kg KG-Methode** und nach dem **HOLLMANN-Verfahren** bis zur individuellen Erschöpfung auf dem ebenfalls computergesteuerten Fahrradergometer der **Firma Ergoline/Bitz** im Sitzen belastet.

Insgesamt basieren damit meine experimentellen Untersuchungen auf **303 erschöpfenden Spiroergometrien**. Davon **254** nach der **1 W/kg KG-Methode**, **15** nach dem **HOLLMANN-**

Verfahren, 6 nach der **BAL-Methode**, 6 nach dem **KNIPPING-Verfahren**, 6 nach der Gießener **0,5 W/kg KG-Methode**. Dazu zurechnen sind noch die 16 erschöpfenden Spiroergometrien von 8 **Eliteruderern** des Adam-Achters 1970 nach der **Ratzeburger Ruderergometrie-Methode** vor und nach einem **Höhentraining**.

3.1.1 Trainingszustand

Die **Probanden** wurden nach ihrem **Trainingszustand** 5 **Leistungsgruppen** zugeteilt (Tab. 1). Dieser wurde auf der Grundlage der körpergewichtsbezogenen **1 W/kg KG-Methode** von **NOWACKI** 1971 und den von ihm empfohlenen **Beurteilungskriterien** ermittelt.

Die Tab.1 zeigt gleichzeitig die **anthropometrischen Parameter** **Alter** in **Jahren**, **Größe** in **cm** und **Gewicht** in **kg** der untersuchten Männer.

Aufgeteilt sind dies **25** untrainierte, **54** befriedigend, **85** gut und **72** sehr gut trainierte Männer / Athleten. **9** Sportler erreichten eine **Hochleistung** mit maximal **6 Watt/kg KG**.

Insgesamt wurden somit die spiroergometrischen Leistungsdaten nach dieser Differenzierung des Trainingszustandes in **5 Kategorien** von **245** Probanden erfasst.

Tabelle 1: Anthropometrische Parameter der Athleten – Differenziert nach dem Trainingszustand – im Vergleich zu untrainierten Männern

Trainingszustand Gruppe	Anzahl n	Alter J	Größe cm	Gewicht kg
Untrainiert	25	27,7 ± 6,4	179,9 ± 7,3	83,5 ± 11,9
Befriedigend trainiert	54	24,2 ± 5,8	180,0 ± 8,3	76,3 ± 9,4
Gut trainiert	85	24,4 ± 5,2	179,8 ± 6,0	75,1 ± 7,7
Sehr gut trainiert	72	22,3 ± 4,1	179,9 ± 6,2	73,0 ± 7,9
Hochleistung	9	23,7 ± 5,0	177,4 ± 3,0	72,3 ± 4,3
Gesamt	245	24,1 ± 5,3	179,8 ± 6,7	75,5 ± 9,0

3.1.2 Sportart

Die **vergleichende Darstellung** und Diskussion der **körperlichen, kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit** von **18 Sportarten** basiert auf einer jeweiligen **Anzahl** von mindestens **5 bis maximal 23 Probanden** (Tab. 2).

Insgesamt konnten für diese vergleichende Analyse die **maximalen biologischen Leistungsdaten** von **227 Athleten** herangezogen werden.

Entsprechend meinem *sportwissenschaftlichen / trainingswissenschaftlichen* Schwerpunkt an der *Universität Menofia / Ägypten* ist die Sportart **Fußball** mit **59 Spielern**, davon **38 deutsche Nationalspieler**, am stärksten vertreten.

Voraussetzung für die Aufnahme in den **Sportarten-Vergleich** war ebenfalls eine erschöpfende **spiroergometrische Belastung** auf dem Fahrradergometer im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**.

Tabelle 2: Anthropometrische Parameter der Athleten aus 18 Sportarten

Sportarten 18	Anzahl n	Alter J	Größe cm	Gewicht kg
Badminton	11	23,4 ± 6,2	180,7 ± 5,0	77,3 ± 13,2
Basketball	16	18,9 ± 3,5	181,0 ± 5,5	73,1 ± 10,1
Bodybuilding	7	24,1 ± 7,4	180,4 ± 5,8	82,9 ± 8,3
Boxen	5	26,6 ± 4,9	174,7 ± 7,0	68,4 ± 6,0
Eishockey	10	25,7 ± 3,6	179,6 ± 5,8	78,6 ± 8,6
Fußball	21	23,4 ± 6,2	177,2 ± 6,3	73,8 ± 8,3
Fußball WM 74	23	26,0 ± 2,7	177,0 ± 4,5	75,0 ± 4,2
Fußball WM 82	15	25,7 ± 3,3	179,5 ± 5,2	79,2 ± 6,3
Handball	11	22,3 ± 5,3	187,3 ± 8,2	82,7 ± 10,4
Leichtathletik	17	21,1 ± 3,9	182,9 ± 3,9	75,3 ± 10,0
Radfahren	9	21,2 ± 4,9	178,7 ± 7,8	69,9 ± 10,0
Rudern	10	21,8 ± 4,0	182,4 ± 5,6	76,8 ± 8,2
Schwimmen	5	23,8 ± 5,3	185,8 ± 8,3	82,6 ± 8,4
Skilanglauf	9	23,6 ± 7,9	176,8 ± 6,2	69,4 ± 5,7
Tauchen	12	27,5 ± 6,7	179,5 ± 6,4	76,8 ± 10,9
Tennis	10	22,1 ± 3,6	180,9 ± 7,8	74,4 ± 6,6
Tischtennis	12	27,6 ± 6,3	176,0 ± 8,9	71,7 ± 8,5
Triathlon	6	26,3 ± 3,5	183,6 ± 6,1	75,3 ± 5,5
Turnen	8	25,3 ± 6,6	175,9 ± 4,4	71,8 ± 6,2
Volleyball	10	23,6 ± 4,6	183,9 ± 8,6	81,8 ± 10,5
Gesamt	227	23,9 ± 5,4	179,9 ± 6,8	75,7 ± 9,1

3.1.3 Belastungsmethoden

Für den Vergleich der **5 unterschiedlichen Belastungsmethoden** wurden **6 Sportler** ausgesucht. Alle Athleten waren nach den Kriterien der 1 Watt/kg KG-Methode **sehr gut trainiert**. Die **untersuchten Probanden** waren zwischen **21,0 – 31,8 Jahre** alt. Ihre Körpergröße lag zwischen **170 – 192 cm** und ihr Gewicht zwischen **64,5 – 92,0 kg**.

Die **anthropometrischen Parameter** dieser Gruppe zeigt die Tab. 3.

Die Athleten wurden in einer randomisierten Reihenfolge untersucht, so dass ein spezieller Trainingseffekt für eine bestimmte Methode im Untersuchungszeitraum von zwei bis drei Wochen ausgeschlossen werden konnte.

Tabelle 3: Anthropometrische Parameter sehr gut trainierter Sportler (n = 6) bei 5 verschiedenen fahrradspiroergometrischen Belastungsverfahren im Sitzen

Belastungsmethode	Anzahl n	Alter J	Größe cm	Gewicht kg
0,5 W/kg KG	6	26,7 ± 3,5	179,0 ± 9,7	75,6 ± 9,2
1 W/kg KG	6	26,7 ± 3,5	179,0 ± 9,7	76,0 ± 9,1
BAL	6	26,8 ± 3,5	179,0 ± 9,7	75,8 ± 9,1
Hollmann	6	26,8 ± 3,5	179,0 ± 9,7	75,9 ± 9,4
Knipping	6	26,8 ± 3,4	179,0 ± 9,7	75,3 ± 9,7
Mittelwert	6	26,8 ± 3,2	179,0 ± 9,0	75,7 ± 8,6

3.1.3.1 1 Watt/kg KG-Methode nach NOWACKI

Die **Belastungsstufen** richten sich bei diesem Verfahren nach dem Körpergewicht des Probanden. Es beginnt mit einer **Eingangsstufe** von **1 W/kg KG** - z. B. **Anfangswert** für einen Probanden mit **80 kg** Körpergewicht = **80 Watt**, **Steigerung alle 2 Minuten** um **1 W/kg KG**, so dass in der **3. bis 4. Minute 160 Watt**, in der **5. bis 6. Minute 240 Watt**, in

der **7. bis 8. Minute 320 Watt**, in der **9. bis 10. Minute 400 Watt** und in der **11. bis 12. Minute 6 W/kg KG**, entsprechend **480 Watt**, von einem **Weltklasse-Athleten** aus den **Ausdauer-Kraft-Sportarten** geleistet werden.

Die **Umdrehungszahl** steigert sich dabei von einem **Anfangswert** von **50 U/min** um etwa **10 U/min** in jeder neuen Belastungsstufe, so dass in der Endstufe **90 U/min** im Durchschnitt getreten wurden. Damit werden die nationalen und internationalen Empfehlungen für die Umdrehungszahl von **MELLEROWICZ 1961**, **ULMER 1975** und anderen eingehalten.

Die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit erfolgt nach voller Ausbelastung des **kardiozirkulatorischen** Systems des Probanden. Nach der **maximal** erreichten **relativen Wattstufe** werden die Probanden den verschiedenen **Leistungsgruppen** zugeordnet.

Die Abb. 56 zeigt die **1 W/kg KG-Methode** für die erschöpfende Fahrradergometrie im Sitzen mit den Beurteilungskriterien für die **Leistungsfähigkeit** und den **Trainingszustand** nach **NOWACKI 1971, 1975, 1977**.

Mit diesem Verfahren ist eine exakte **Trennung** zwischen dem **untrainierten** und **trainierten Bereich** möglich. Ein gesunder **untrainierter Schüler** ab dem **7. Lebensjahr** und ein **untrainierter gesunder Mann** bis zum **40. Lebensjahr** können **2 Minuten 3 W/kg KG** leisten.

Pathologisch ist eine körperliche Belastbarkeit von **1 W/kg KG** oder noch niedriger. **Leistungsschwach** ist eine männliche Person dieser Altersgruppe wenn nur **1 Minute 2 W/kg KG** maximal getreten werden kann. **Ausreichend untrainiert** lautet die Beurteilung beim Bereich von **2 Minuten 2 W/kg KG** bzw. auch noch nach einer Minute **3 W/kg KG**.

Ab **4 W/kg KG** wird der **trainierte Bereich** erschlossen. Dabei wird eine Leistung von **1 min 4 W/kg KG** befriedigend trainiert, **2 min 4 W/kg KG** mit **gut trainiert** beurteilt. **1 bis 2 Minuten 5 W/kg KG** sind **sehr gut trainiert**. Ab **1 min 6 W/kg KG** handelt es sich um eine **Hochleistung**.

Dieses Verfahren ist geeignet für **Frauen und Männer** bis zum **40. Lebensjahr**. Erwähnt werden soll in diesem Zusammenhang, dass die **1 W/kg KG-Methode** sich auch für **Mädchen** bis zur Maturität mit den gleichen Beurteilungskriterien eignet. Danach verschiebt sich die

Beurteilung der Leistungsfähigkeit für Frauen um eine Minute nach links (MEDAU, NOWACKI 1984).

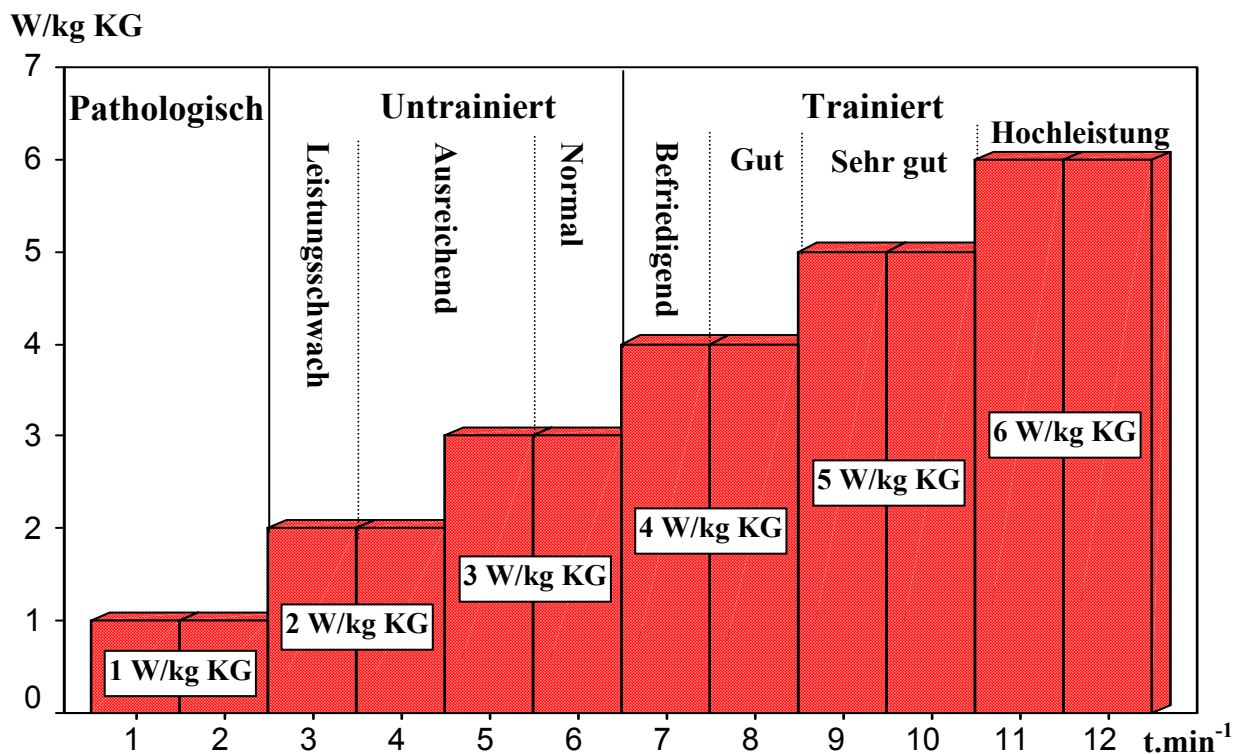


Abb. 56: Körpergewichtsbezogenes 1 Watt/kg KG–Belastungsverfahren nach NOWACKI mit Beurteilungskriterien der Leistungsfähigkeit für männliche Probanden vom 7. – 40. Lebensjahr.

3.1.3.2 0,5 W/kg KG-Methode nach NOWACKI

Die Fahrradergometrie wird bei diesem Testverfahren nach NOWACKI 1975 mit einer Anfangsstufe von **0,5 Watt/kg KG** und Steigerungen **alle 2 Minuten** um 0,5 Watt/kg KG durchgeführt (z. B. Anfangswert für einen Probanden mit **80 kg** Körpergewicht = **40 Watt – 80 Watt – 120 Watt – 160 Watt...** usw.). Dieses Verfahren wurde in erster Linie für den **Frauensport** entwickelt (Abb. 57) Für **Mädchen nach der Pubertät** und Frauen gelten die Beurteilungskriterien nach MEDAU, NOWACKI 1984. Für **Männer ab 40 Jahren**, speziell den **Senioren-sport**, eignet sich diese **0,5 W/kg KG-Methode** besonders.

Mit einer Umdrehungszahl von **40 – 45 U/min** beginnt die Belastung und wird um ca. **5 U/min** in jeder neuen Belastungsstufe erhöht.

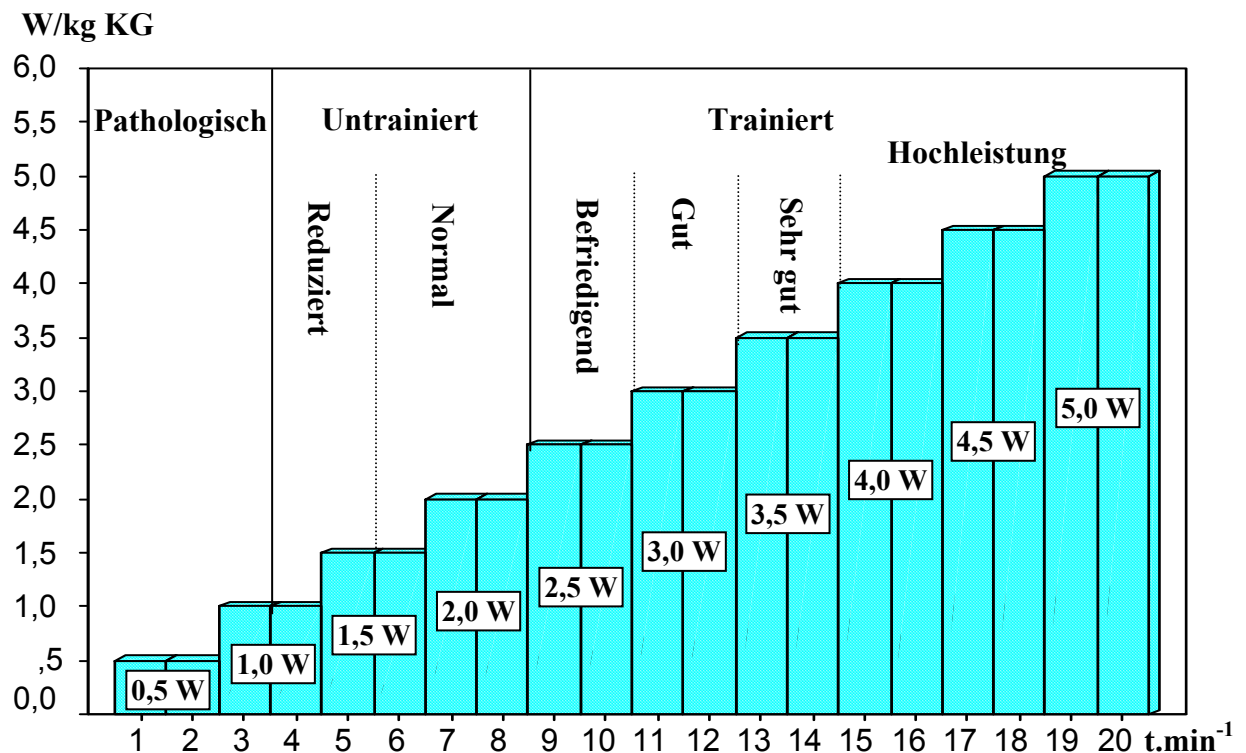


Abb. 57: 0,5 W/kg KG-Methode nach NOWACKI mit den Beurteilungskriterien der Leistungsfähigkeit und des Trainingszustands.

3.1.3.3 Belastungsmethode nach HOLLMANN

Nach der Belastungsmethode von **HOLLMANN** an der **Deutschen Sporthochschule** in **Köln** wurde die wohl weltweit **größte Zahl** fahrradergometrischer Sportleruntersuchungen durchgeführt. Dieses Verfahren beginnt mit einer Belastungsstufe von **3 mkg/s** entspricht **30 Watt**. Die Belastungsintensität steigt nach einer Arbeitsdauer von **3 Minuten** bei jeder weiteren Belastungsstufe um **4 mkg/s** entspricht **40 Watt**. Somit werden in **3-minütigen** Abständen danach die folgenden Wattstufen von einem Probanden geleistet: **30, 70, 110, 150, 190, 230, 270 Watt** usw. (Abb. 58). Auch mit diesem Verfahren lässt man im Allgemeinen die Belastung erst bei Erreichen der individuellen Erschöpfung abbrechen. Die Umdrehungszahl wird nicht vorgegeben, sondern individuell frei gewählt (**HOLLMANN** 1990).

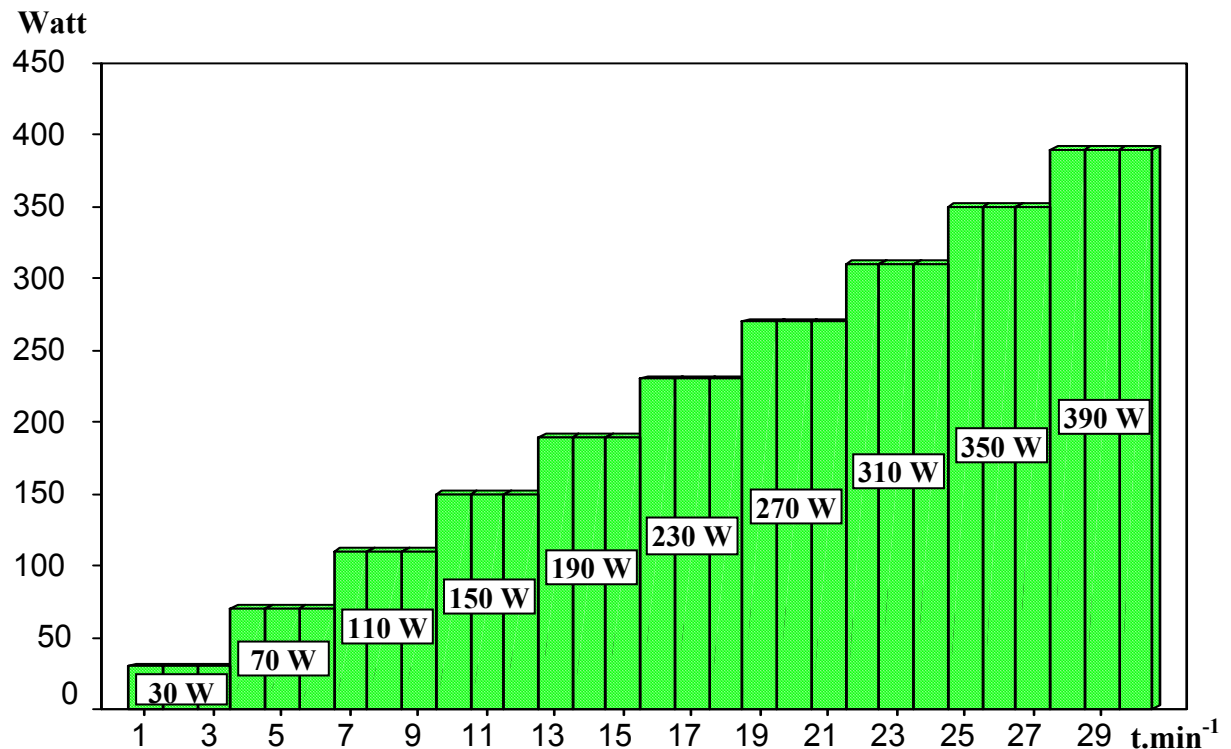


Abb. 58: Fahrradergometrische Belastungsmethode im Sitzen nach HOLLMANN.

Eine Differenzierung des Leistungs- und Trainingszustandes wurde vom Autor nicht angegeben.

3.1.3.4 Standard-Belastungsmethode für den Leistungssport in der Bundesrepublik nach dem Bundesausschuss für Leistungssport

Für den Leistungssport in der Bundesrepublik Deutschland hat sich seit der Einführung des Neuen Untersuchungssystems die Belastungsmethode als Fahrradergometrie im Sitzen, die **BAL-Methode**, an der auch **NOWACKI** maßgeblich beteiligt war (**BARON** u. Mitarb. 1971), für die Athleten der **A, B** und **C- Kader** überwiegend durchgesetzt.

Das Verfahren beginnt bei **Männern** mit einer Belastungsstufe von **150 Watt**, bei **Frauen** mit **100 Watt**. Die Belastungsintensität steigt nach einer Arbeitsdauer von **3 Minuten** in jeder Belastungsstufe um **50 Watt** an. Gesteigert wird auch hier bis zum Grenzbereich der individuellen Leistungsfähigkeit (Abb. 59).

Die **Umdrehungszahl** wird nicht vorgegeben, sondern ist individuell frei wählbar.

Diese Methode lehnt sich damit eng an die Empfehlungen von **MELLEROWICZ** 1961 an.

Die **Berliner-Methode** nach **MELLEROWICZ** 1956 beginnt mit **100 Watt** und sieht **Steigerungsstufen** alle **2 Minuten** um **50 Watt** vor. In der Nähe des Erschöpfungsbereichs kann auch minütlich nur um **25 Watt** gesteigert werden.

Dieses Verfahren ist die weltweit am häufigsten eingesetzte ergometrische Belastungsmethode. Dabei hat sich dann die Umrechnung der maximalen Belastungsstufe auf **W/Kg KG** nach den Empfehlungen von **NOWACKI** 1981 in den Mitgliedsländern der **FIMS** „**Fédération Internationale de Médecine du Sport**“ durchgesetzt.

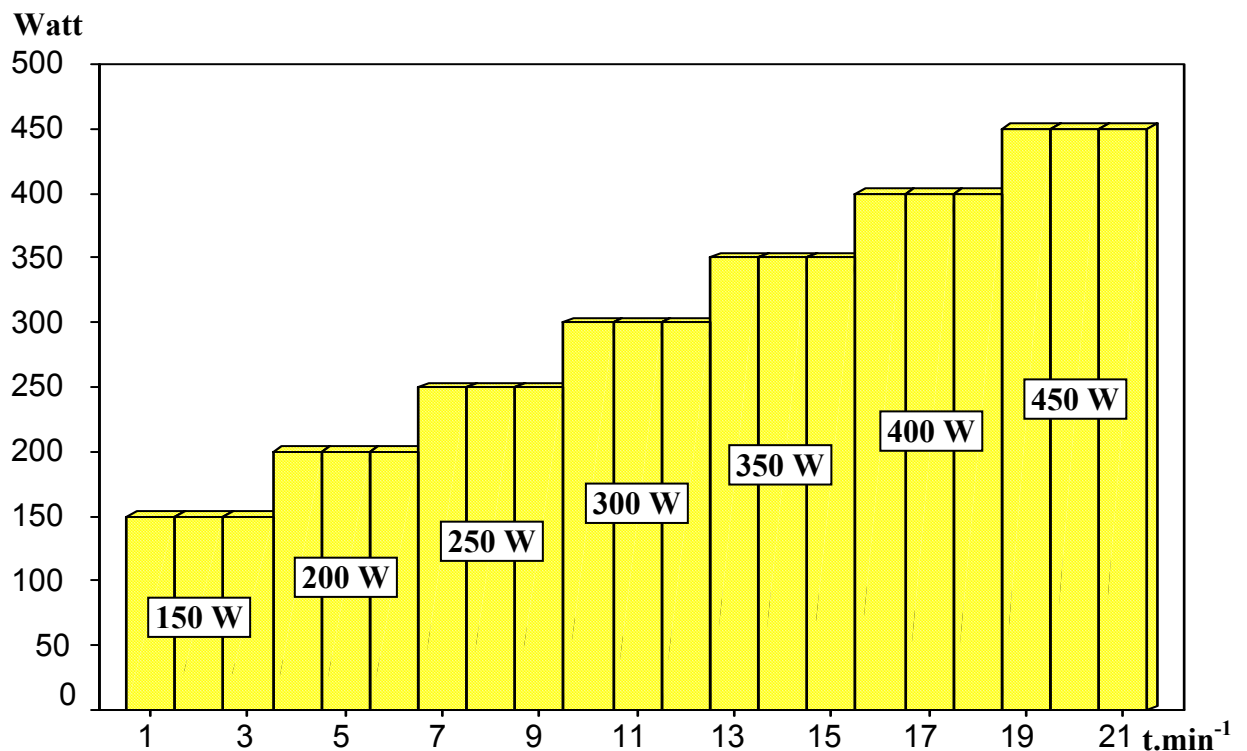


Abb. 59: Standard-Belastungsmethode für den Leistungssport in der Bundesrepublik Deutschland nach den Empfehlungen des Bundesausschusses für Leistungssport (BAL) für die A-, B- und C-Kader-Athleten.

3.1.3.5 Belastungsmethode nach KNIPPING

Bei diesem Testverfahren nach **KNIPPING** wird die Fahrradergometrie mit einer **Anfangsstufe** von **200 Watt** für Sportler gestartet. Die **Belastungsintensität steigt** nach einer Arbeitsdauer von **1 Minute** in jeder Belastungsstufe um **10 Watt** bis zum Grenzbereich der

Leistungsfähigkeit (Abb. 60). Die **Umdrehungszahl** wird nicht vorgegeben und somit vom Sportler frei gewählt (**KNIPPING** 1960).

Über lange Jahre war diese Methode nahezu bedeutungslos. Sie erlebt heute in modifizierter Form als **Anaerober Test** eine Renaissance (**SZÖGY** 1984 , **VATER** 2003).

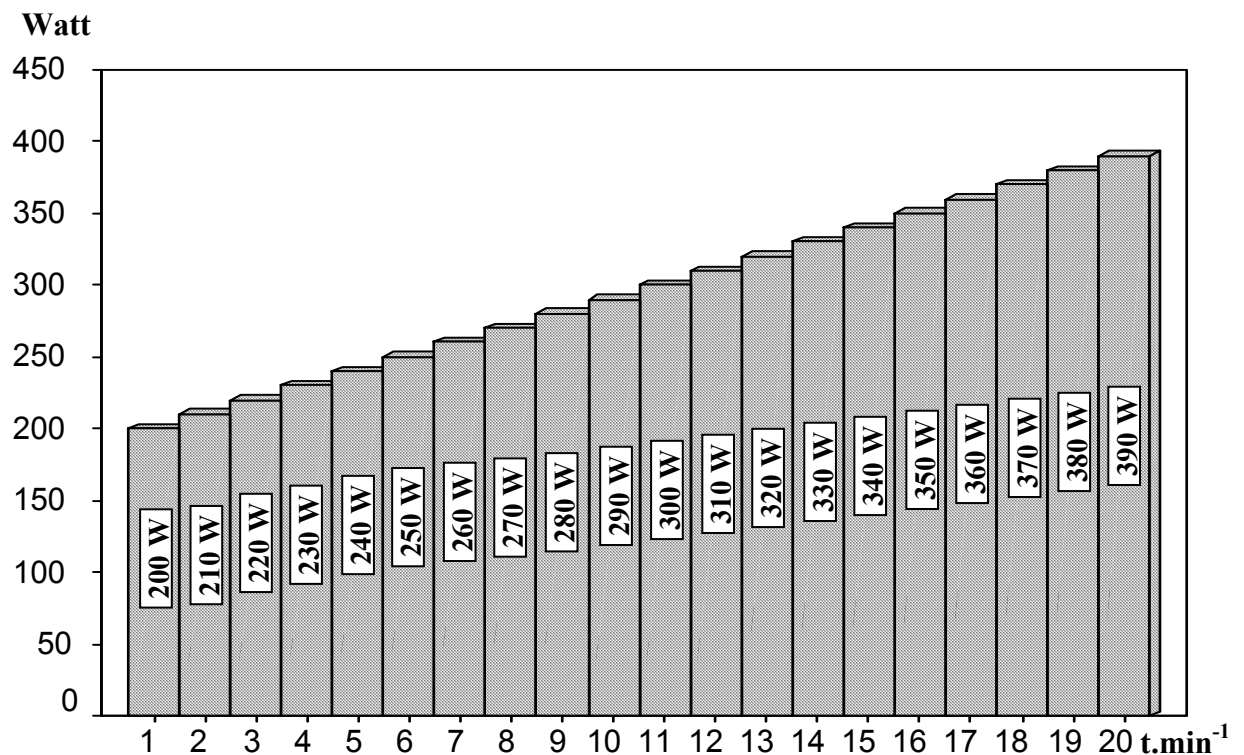


Abb. 60: Belastungsmethode nach KNIPPING – Fahrradergometrie im Sitzen.

3.1.4 Höhenttraining

Der Bundesausschuss zur Förderung des Leistungssports hat eine wissenschaftliche Unterkommission “ **Höhentraining** “ gebildet (Mitglieder: Dr. K. Adam, Ratzeburg, Dr. D. Baron, Damp, Dr. W. Essing, Köln, Prof. Dr. H. Mellerowicz, Berlin, Prof. Dr. P. Nowacki, Gießen/Ratzeburg und P. Schmidt, Siegen), die **Empfehlungen zum Höhenttraining** ausgearbeitet hat, die hier nicht im einzelnen vorgestellt werden können (**ADAM** u. Mitarb. 1972).

Da durch das **Höhentraining** die **aerobe** und **anaerobe Kapazität** gefördert wird, sollten nur solche Sportarten im Hochland trainiert werden für welche diese Adaptationen leistungslimitierend sind. Es würden sich somit nur die Sportarten eignen, bei denen die Belastungszeiten im Wettkampf länger als eine Minute dauern, z. B. **Rudern**, **Kanufahren**, **Läufe** ab 800 Meter aufwärts, **Skilanglauf**, **Radsport**. 400 Meter Läufe oder 100 Meter **Schwimmen** stellen Grenzwerte dar. Zu den Ausdauersportarten sind auch **Ballspiele** zu zählen, bei denen eine hohe Laufleistung verlangt wird (**HOLLMANN** u. Mitarb. 1967, **ADAM** 1970, **MELLEROWICZ** u. Mitarb. 1970, **ÅSTRAND** 1972, **NOWACKI** 1977).

Für den **Vergleich** der maximalen biologischen Leistungsdaten **Vor-** und **Nach** dem **Höhentraining** wurden **8 Elite-Ruderer** des **Deutschland-Achters** 1970 nach der **Rudermethode** im **Flachland** (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) und nach dem Höhentraining in 2045 m am **Silvretta-Stausee** untersucht. Die untersuchten Athleten waren $23,5 \pm 1,9$ Jahre alt, wogen $93,6 \pm 3,5$ kg und waren im Durchschnitt $190,4 \pm 4,6$ cm groß.

Die vom Untersuchungssystem für den **Spitzensport** vorgeschlagenen Zeiten (**NOWACKI**, **ADAM** u. Mitarb 1971) konnte man bei der **hohen Kraft-Ausdauerleistungsfähigkeit** der Ruderer nur einhalten, wenn im Gegensatz zu den ergometrischen Belastungsverfahren, die den **Beginn** mit **100 Watt** oder darunter vorsehen, schon eine **hohe Anfangsleistungsstufe** gewählt wurde. Die für Ruderer eingeführte **Anfangsbelastungsstufe** von **250 Watt** – für den **Elite-Ruderer** ohnehin nur eine **Warmfahrstufe** – sowie die **Steigerung** alle **2 Minuten** um **50 Watt** bis zur Erschöpfung bei ergometrischer Fußkurbelarbeit im Sitzen hat sich sehr bewährt.

Die Belastungszeiten liegen dann zwischen **8 Minuten** (nach **2 Minuten 400 Watt**) – **10 Minuten** (nach **2 Minuten 450 Watt**) – **12 Minuten** (nach **2 Minuten 500 Watt**). Zusammen mit der generell zu registrierenden **zehnminütigen Erholungszeit** wird damit die Zeitdauer der ergometrischen Leistungsprüfung auf **20 bis höchstens 30 Minuten** begrenzt.

Eine exakte Differenzierung des Trainingszustandes der Ruderer, wie z. B. nach der 1 W/kg KG-Methode, erfolgte früher nach der “ **Ratzeburger-Ruder-Methode** “ nicht.

Zusammen mit **NOWACKI** habe ich deshalb im Rahmen meiner Dissertation die in der Abb. 61 dargestellte Empfehlung zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der so getesteten Athleten ausgearbeitet.

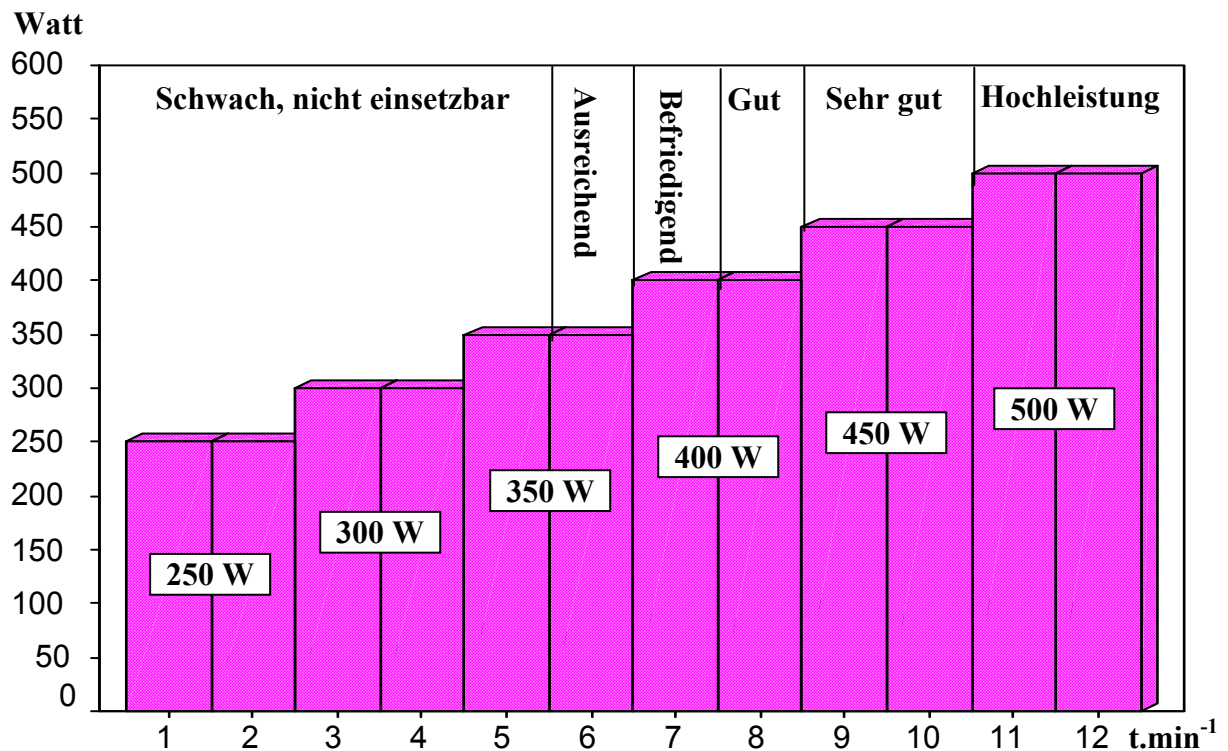


Abb. 61: Ratzeburger Belastungsmethode für Ruderer – Fahrradergometrie im Sitzen mit den neu inaugurierten Einteilungskriterien des Trainingszustandes (NOWACKI, ELGOHARI 2003).

3.1.5 Gruppe Athleten 2002

Für den **Vergleich** zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** wurden noch einmal aktuell **9 Sportler** ausgesucht. Alle Athleten waren nach den Kriterien der 1 Watt/kg KG-Methode **sehr gut trainiert**. Die untersuchten Probanden waren $24,5 \pm 8,2$ **Jahre** alt, $76,6 \pm 13,3$ **kg** schwer und $182,5 \pm 7,9$ **cm** groß.

Wir haben die erste Untersuchung mit der **1 W/kg KG-Methode** am **25.11.2002** angefangen und nach einer Woche haben wir die zweite Untersuchung nach dem **HOLLMANN-Verfahren** mit dem modernsten Computergesteuerten spiroergometrischen Messplatz der Fa. E. Jaeger, Würzburg / Höchberg durchgeführt (Abb. 62).

Eine randomisierte Reihenfolge wie beim Vergleich der 5 Methoden – 1. Untersuchung **NOWACKI-Methode** vs. 2. Untersuchung **HOLLMANN-Verfahren** bzw. umgekehrt – war bei der **Gruppe Athleten 2002** nicht erforderlich.



Abb. 62: Straßenradfahrer J. S. aus der Gruppe Athleten 2002 bei einer erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen am Lehrstuhl für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen mit dem neuen Meßplatz.

3.2 Untersuchungsbedingungen

Ergometrische Untersuchungen können durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen die revidierten **Standardisierungsvorschläge** von **1981** eingehalten werden. Es handelt sich dabei um ein **Minimal- und Kompromissprogramm** der **Arbeitsgruppe** für **Ergometrie** des **International Council for Sport and Physical Education (ICSPE der UNESCO)**, welches bei dem 4. Internationalen Seminar für Ergometrie zur Anwendung empfohlen wurde (**MELLEROWICZ, FRANZ** 1983).

Der Kommission gehörten an:

ARSTILA	Finnland	HOFMANN	BRD	PARIZKOWA	CSSR
BAUCH	BRD	HORAK	CSSR	SCHMIDT	BRD
DIETRICH	DDR	JOKL	USA	SCHWALB	BRD
DORSCHIED	BRD	KOENIG	BRD	SELIGER	CSSR
DRASCHE	BRD	KÖNIG	BRD	SHEPHARD	Kanada
ENGEL	BRD	KRAL	CSSR	SKRANC	CSSR
FRIC	CSSR	MAIDRON	BRD	TSCHIRDEWAHN	BRD
GOTTHEINER	Israel	MEDVED	Jugoslawien	VUORI	Finnland
HANSEN	BRD	MELLEROWICZ	BRD	WEIMANN	BRD
HEBBELINCK	Belgien	NOWACKI	BRD	WELSCH	DDR

Ihre folgenden **Empfehlungen** der **Arbeitsgruppe** gehören heute zur **Voraussetzung** bei **allen ergometrischen Untersuchungen** in der Klinik und Praxis (ICSPE 1981):

- ❖ Vor dem Untersuchungstag ist möglichst die **Ernährung** wenig zu ändern. Am Untersuchungstag ist bis 3 Stunden vor der Untersuchung eine kleine Kohlenhydratmahlzeit erlaubt (2 Schnitten mit Aufstrich und 1 Glas Getränk).
- ❖ Am Vortag sind größere **physische** und **psychische Beanspruchungen**, am Untersuchungstag auch kleine körperliche sowie andere Beanspruchungen vor der Untersuchung zu vermeiden, weil sie den Leistungsumsatz bei ergometrischen Untersuchungen verändern können.
- ❖ Vor der Untersuchung ist dem Probanden der Gang der **Untersuchung** zu **erklären**. Er ist möglichst zu beruhigen. Außenreize sind weitmöglichst abzuschalten, z.B Lärm, Unterhaltung, Zugluft, Blick auf verkehrsreiche Straßen usw. Überflüssige Personen sind zu entfernen.
- ❖ Die Probanden sollen **vor Beginn** der Untersuchung minimal 10 Minuten sitzend, besser liegend, **ruhen**.

- ❖ Die **Raumtemperatur** soll möglichst +18 bis +22 Grad C betragen und +16 bis +24 Grad C nicht unter bzw. überschreiten. Die relative **Luftfeuchtigkeit** sollte 60 % nicht übersteigen. Bei höheren Temperaturen und höherer Luftfeuchtigkeit sind entsprechende Korrekturfaktoren zu berücksichtigen. An heißen Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit sind ergometrische Untersuchungen möglichst zu unterlassen.
- ❖ Bei der Untersuchung soll aus thermoregulatorischen Gründen – **Sportkleidung** – getragen werden. Jungen und Männer nur eine kurze Hose, weiterhin Socken und Sportschuhe mit durchgehender Sohle, Mädchen und Frauen zusätzlich einen Sport-Büstenhalter (BH).
- ❖ Alle **Medikamente**, auch **Genussmittel** wie Kaffee, Tee und Nikotin sind am Untersuchungstag zu vermeiden. Erforderliche Medikationen sind im Untersuchungsprotokoll zu vermerken.
- ❖ Die **Tageszeit** der ergometrischen Untersuchung ist anzugeben. Bei wiederholten vergleichenden Untersuchungen ist möglichst die gleiche Tageszeit zu wählen, weil die Leistungsfunktionen sich im Laufe des Tages verändern.
- ❖ **Ungewöhnliche Verhältnisse** sind auf dem **Untersuchungsprotokoll** zu vermerken.

3.2.1 Klinisch-sportmedizinische Untersuchung

Bei jedem Probanden wurde eine ausführliche **Gesundheits-, Sport-, Trainings- und Leistungsanamnese** vor der ergometrischen Leistungstestung erhoben.

Danach wurde eine gründliche **allgemeine, körperliche internistisch – orthopädische Untersuchung** durchgeführt.

Die Probanden waren klinisch **gesund** und somit **voll belastungsfähig** für die fahrradergometrische Austestung der **individuellen Vita Maxima** nach der **1 W/kg KG - Methode** (Gießener Modell nach **NOWACKI** 1975, 1977, 1978), sowie alle anderen eingesetzten Methoden.

Die Beurteilung der **Sporttauglichkeit** und des **Trainingszustandes** erfolgte dann zusammenfassend nach dem **klinischen Befund**, dem Ergebnis des ergometrischen **Leistungstests - maximale absolute und relative Wattstufe** mit den **Beurteilungskriterien** nach dem Gießener Modell - und unter besonderer Berücksichtigung der **kardiozirkulatorischen Reaktionen - Herzfrequenz, Blutdruck** - in der Leistungs- und Erholungsphase (**Tab. 4, 5**).

Tabelle 4: Beurteilungskriterien für die Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei der Anwendung der körperlsgewichtsbezogenen 1 W/kg KG-Methode - erschöpfende Fahrradergometrie im Sitzen für Sportler und untrainierte Männer (NOWACKI 1977, 1992, 1997)

Belastungszeit in Minuten nach der:	Watt/kg KG	Beurteilung
1. min	1	Sicherer Hinweis auf pathologische Veränderungen
2. min	1	Verdacht auf pathologische Veränderungen
3. min	2	Leistungsschwach
4. min	2	Ausreichende Leistung eines Untrainierten
5. min	3	Normale befriedigende Leistung eines Untrainierten
6. min	3	Normale gute Leistung eines Untrainierten
7. min	4	Befriedigend trainiertes körperliches Leistungsvermögen
8. min	4	Gut trainiertes körperliches Leistungsvermögen
9. – 10. min	5	Sehr gut trainiertes körperliches Leistungsvermögen
11. – 12. min	6	Hochleistungstrainingszustand

Tabelle 5: Beurteilungskriterien der kardiozirkulatorischen Erholungsphase nach maximaler Ausbelastung für Sportler (NOWACKI 1977, 1992, 1997)

Herzfrequenz nach 5 min Erholungszeit	Trainingszustand des Herz-Kreislauf-Systems
Über $130 \cdot \text{min}^{-1}$	Schlecht, Verdacht auf pathologische Veränderungen
Zwischen $121 - 130 \cdot \text{min}^{-1}$	Ausreichende kardiozirkulatorische Erholung
Zwischen $111 - 120 \cdot \text{min}^{-1}$	Befriedigende kardiozirkulatorische Erholung
Zwischen $106 - 110 \cdot \text{min}^{-1}$	Gute kardiozirkulatorische Erholung
Zwischen $100 - 105 \cdot \text{min}^{-1}$	Sehr gute kardiozirkulatorische Erholung
Unter $100 \cdot \text{min}^{-1}$	Hochleistungstrainingszustand

Die **spiroergometrisch** ermittelten **maximalen biologischen Leistungsdaten** sichern darüber hinaus die weitere **Klassifizierung** des **Trainingszustands** der Sportler. Weiterhin sind sie als **biologische Talentgrößen** bei Kindern und Jugendlichen für sportliche Entwicklungsprognosen bedeutsam. Dies gilt besonders für die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** als wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit.

3.2.2 Sportmedizinische Leistungsdiagnostik - Vita-maxima-Methoden

Mindestens in 3 Wattstufenbereichen, d. h. **von 1 – 3 Watt/kg KG**, erfolgte die Belastung bis zum Erreichen des Erschöpfungspunktes. Damit waren die **untrainierten Probanden** dieser Studie erschöpft. Die **befriedigend trainierten** Probanden konnten **1 min 4 Watt/kg KG**, die **gut trainierten** Probanden **2 min 4 Watt/kg KG**, die **sehr gut** trainierten Athleten **1 bis 2 min 5 Watt/kg KG** und die **Hochleistungssportler** **6 bis 7 Watt/kg KG** leisten.

Somit wurde die **Belastungszeit** auf dem Fahrradergometer von **minimal 5 – 6 Minuten** nicht unterschritten und eine **maximale** Belastungszeit von **11 bis 14 Minuten** nicht überschritten.

Weltklasseathleten aus den **Ausdauer–** und **Ausdauer–Kraftsportarten** (z. B. **Skilangläufer, Triathleten, Straßenradrennfahrer**) erreichen ihren optimalsten Trainingszustand mit **1 bis 2 Minuten** 7 W/kg KG , also nach **13 bis 14 Minuten** Belastungszeit bei der Spiroergometrie.

Nach **MELLEROWICZ** 1979 wurden bei allen Untersuchungen die Kriterien der **Vita maxima-Bedingungen** nicht nur erreicht, sondern übertroffen. Darüber hinaus war entscheidend, dass bei allen Probanden **eine subjektive Ausbelastung** bis zur **individuellen Leistungsgrenze** im Rahmen der durch die Labormessungen vorgegebenen Bedingungen erreicht wurde.

3.2.2.1 Fahrradspiroergometrie

Die erschöpfenden **Fahradspiroergometrien im Sitzen** erfolgten nach dem Gießener Körpergewichtsbezogenen 1 W/kg KG Belastungsverfahren (**NOWACKI** 1975, 1977, 1978) auf dem regelmäßig geeichten drehzahlunabhängigen, elektrisch gebremsten Universalergometer der **Firma E. Jaeger, Würzburg** (Abb. 63).

Der Proband beginnt mit **1 Watt/kg KG**, also schon mit einer relativ hohen Wattstufe als Anfangsbelastung. Danach Steigerung **alle 2 Minuten um 1 Watt/kg KG** bis zum individuellen **Erschöpfungspunkt**.

Hier führte entweder das subjektive Erschöpfungsgefühl der Probanden oder die von **MELLEROWICZ** 1962, **HOLLMANN** 1963, 1965 und **BRINKMANN** 1980 empfohlenen Kriterien zum Belastungsabbruch.

Der **Wert des Verfahrens** liegt in der **scharfen Trennung** zwischen dem **untrainierten** und **trainierten Bereich** sowie einer praktisch bewährten Differenzierung des **Trainingszustandes**. An die Leistungsphase schloss sich eine **fünfminütige Erholungsphase** bei allen Belastungsverfahren an. Bei der **Rudermethode** wurde die Erholungsphase **10 Minuten** registriert.

Um **orthostatische Dysregulationen** zu vermeiden, erfolgte in den **ersten 3 Minuten** der Erholung ein Weiterrreten mit **10 – 20 Watt** bei einer Drehzahl von ca. **20/min**. Die **letzten 2 Minuten** wurden in **Ruhe sitzend** auf dem Fahrradergometer verbracht und kontrolliert.

Zur Erfassung **der spirometrisch wichtigen Größen** (Atemminutenvolumen **AMV**, Atemfrequenz **AF**, Atemzugvolumen **AZV**, Prozentuale Sauerstoffausnutzung **O₂ %**, Prozentuale Kohlendioxidausscheidung **CO₂ %**) wurde das Gerät **“Pneumotest“** der **Firma E. Jaeger, Würzburg** verwendet. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip des **offenen Systems** mit pneumotachographischer Registrierung **der Ventilationsgrößen** nach **FLEISCH 1956**.

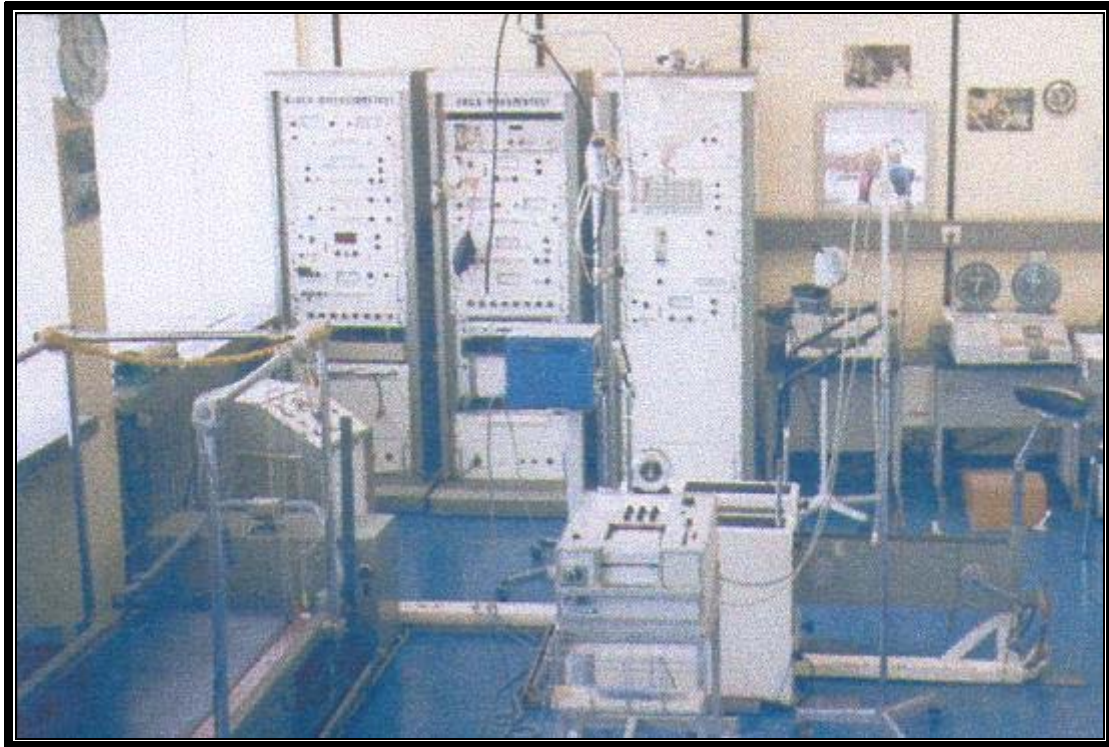


Abb. 63: Der komplette computergesteuerte spiroergometrische Meßplatz am Lehrstuhl für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, aufgestellt 1974. Die damaligen Kosten von ca. 500. 000, - DM (250. 000, - €) wurden von Prof. Dr. Nowacki zu 80% aus Dritt – und Eigenmitteln finanziert.

Im Vordergrund li.: Das Laufbandergometer LE-2000, re. : Das elektrisch gebremste Universal – Ergometer “ Ergotest “, beides Spezialanfertigungen für den Hochleistungssport der Firma E. Jaeger/Würzburg. Im Hintergrund: der ALVEO-Diffusionstest-, ERGO-Pneumotest-, Dataspirogerät der Firma E. Jaeger und die dazugehörige Computeranlage (MLU 600) der Firma OLIVETTI/Italien.

Mit diesem modernsten Meßplatz war die Universität Gießen für einige Jahre führend bei der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik.

Die Registrierung **des Atemminutenvolumens** in Litern erfolgte unter **BTPS** – (**B**ody **T**emperature **P**ressure **S**aturated) – Bedingungen, da die Ausatemungsluft auf ihrem Weg zum **Pneumotachographenrohr** kaum unter 37°C abkühlt und zu 100 % H_2O gesättigt ist. Nachdem die Ausatemungsluft das Pneumotachographenrohr passiert hat, sammelt sie sich in einem **Expirationssammelbeutel**, von dem aus dauernd Gasproben in einen angeschlossenen **Gas-Analysator** gepumpt werden. In diesem Gas-Analysator werden **die Sauerstoff - und Kohlendioxidkonzentrationen** als **Differenz** zwischen der Umgebungsluft = **Einatemungsluft** und der **Ausatemungsluft** nach der **Wärmeleitmethode** gemessen. Die Genauigkeit der Messung beträgt $\pm 0,1$ Volumen – Prozent für $\text{O}_2\%$ und $\text{CO}_2\%$. Das **Atemzugvolumen** ergibt sich dann aus dem Quotienten von Atemminutenvolumen dividiert durch die **Atemfrequenz** :

$$\text{Atemzugvolumen (AZV) ml BTPS} = \frac{\text{Atemminutenvolumen (AMV) ml BTPS}}{\text{Atemfrequenz (AF)} \cdot \text{min}^{-1}}$$

Das Atemminutenvolumen wird als **Treppenkurve** registriert, die nach jeweils **30 Sekunden** wieder auf die Grundlinie zurückspringt. Dies hat den Vorteil, dass man den Verlauf der Atemminutenvolumen – Kurve exakter verfolgen kann. Die Anzahl der Stufen in diesen **2 x 30 Sekunden-Treppen** gibt die **Atemfrequenz** pro Minute wieder. Um auch sehr große Atemminutenvolumina aufzeichnen zu können, besitzt der Schreiber zudem noch verschiedene Messbereiche (**NOWACKI 1977**). Aus der Höhe der Treppenkurven und dem jeweiligen Messbereich lässt sich dann das Atemminutenvolumen berechnen bzw. wird automatisch durch den integrierten Rechner erfasst und ausgedruckt.

Die **Expirationsluft** wird nach dem Passieren der Ausatemungsventile über einen **1,5 bis 2 m** langen Atemschlauch dem Pneumotachographenrohr zugeführt. Dort wird jeder Atemzug nach dem schon erwähnten pneumotachographischen Prinzip volumetrisch registriert. Ein Teil der Luft sammelt sich darüber in einem **Mischbeutel**, von wo sie kontinuierlich über eine kleine Pumpe den **Messkammern** zur Registrierung der **CO₂- und O₂-Konzentrationen** zugeführt wird. Die durchschnittliche Temperatur der Analysenluft entspricht mit 37° der Temperatur der Expirationsluft. Minimale Temperaturschwankungen von $0,1^{\circ}$ bis $0,3^{\circ}\text{C}$ können bei der Berechnung vernachlässigt werden. Damit ist garantiert, dass das Atemminutenvolumen bei **BTPS** - Bedingungen gemessen wird.

Die Entwicklung der **Rahn – Otis – Ventile** zur exakten **Trennung** zwischen der **Inspirations-** und **Expirationsluft** war letztlich eine der entscheidenden Voraussetzungen für den Einsatz der Spiroergometrie im Hochleistungssport. Moderne, leichte Kunststoffmaterialien garantieren dabei nicht nur die einwandfreie Funktion, sondern stellen sowohl als **Y- Ventil** mit **Nasenklemme** (Abb. 64) oder integriert in einer **Atemmaske** (Abb. 65) für den Sportler keine Atemzugsbehinderung bis zur individuellen **Vita-Maxima** dar.



Abb. 64: DFB-Nationalspieler und Kapitän des Weltmeisters Deutschland 1974 F. B. bei einer erschöpfenden Fahrradergometrie mit Y-Ventilatmung und Nasenklemme im WM-Trainingslager Malente / Schleswig – Holstein. Prof. Dr. Paul E. Nowacki auskultiert das Herz. Zu erkennen sind auch die Extremitätenelektroden zur Ableitung des Ergo-EKGs am re. und li. Handgelenk.



Abb. 65: DFB-Nationalspieler B. C. bei einer erschöpfenden Fahrradergometrie mit Maskenatmung im WM-Trainingslager 1974 in Malente / Schleswig-Holstein. Die Sportmedizinische Funktionsassistentin Doralies Nowacki beim Schreiben des Ergo-EKGs mit dem Sechsfachschreiber (Multiscriptor EK 26) der Firma Hellige, Freiburg / Breisgau.

Im Dezember **2002** haben wir ein **modernes spiroergometrisches Gerät (Oxycon Delta)** (Abb. 66) von der **Firma Erich Jaeger, Würzburg-Höchst** geleast, um die neuen Untersuchungen durchführen zu können.

Mit dem **Oxycon Delta** können viele diagnostisch wichtige, ergospirometrische Parameter bestimmt werden, mit dem das **ganze Spektrum** der **kardiopulmonalen Messungen** abgedeckt werden kann. Die technisch optimal funktionierende **Kombination** mit einem **Computer** ermöglicht den sofortigen Ausdruck aller Spiroergometrieparameter.

Das System erfasst die Daten **Atemzug für Atemzug (Breath by Breath)** im **offenen System**. Alle relevanten Daten befinden sich in einem einzigen System, so dass anhand einer umfassenden Analyse eine fundierte Diagnose erstellt werden kann. Um diesen hohen Ansprüchen zu genügen, werden **Sensoren** eingesetzt, die alle gängigen Empfehlungen übertreffen. Der hochgenaue **TripleV-Sensor** (Abb. 67) hat einen geringen **Totraum** und ist leichter als vergleichbare Produkte. Dies ist vor allem für den Probanden angenehm, der

während der Messung ein **Mundstück** oder eine leichte **Maske** mit dem Sensor tragen muss. Das Gerät wurde mit einem leistungsstarkem **Pentium-PC** der neusten Generation ausgerüstet. Ein **Tintenstrahldrucker** in Farbe, graphische Benutzeroberfläche "**Windows**", **kompaktes Gehäuse** mit **O₂ - / CO₂ - Gasanalysatoren**, **Ventilationsmessung** über den digitalen **Volumensensor "TripleV"**, vollautomatische **Eichprogramme** für das **Fluss-Volumen** und die **Gasanalysatoren** sind auf kleinsten Raum untergebracht.

Die **Belastungssteuerung** des Fahrrads, die Übernahme der **Sauerstoffsättigung** aus einem externen **Pulsoximeter**, die Registrierung der **systolischen** und **diastolischen Blutdruckwerte**, ein **Fußschalter** zur **Fernsteuerung** des **Messablaufs** sowie eine **LAB-Datenbank** mit der Möglichkeit, durch **Generierungsprogramme** kundenspezifische Einstellungen tätigen zu können, vervollständigen das neueste Spiroergometrie –Meßsystem.

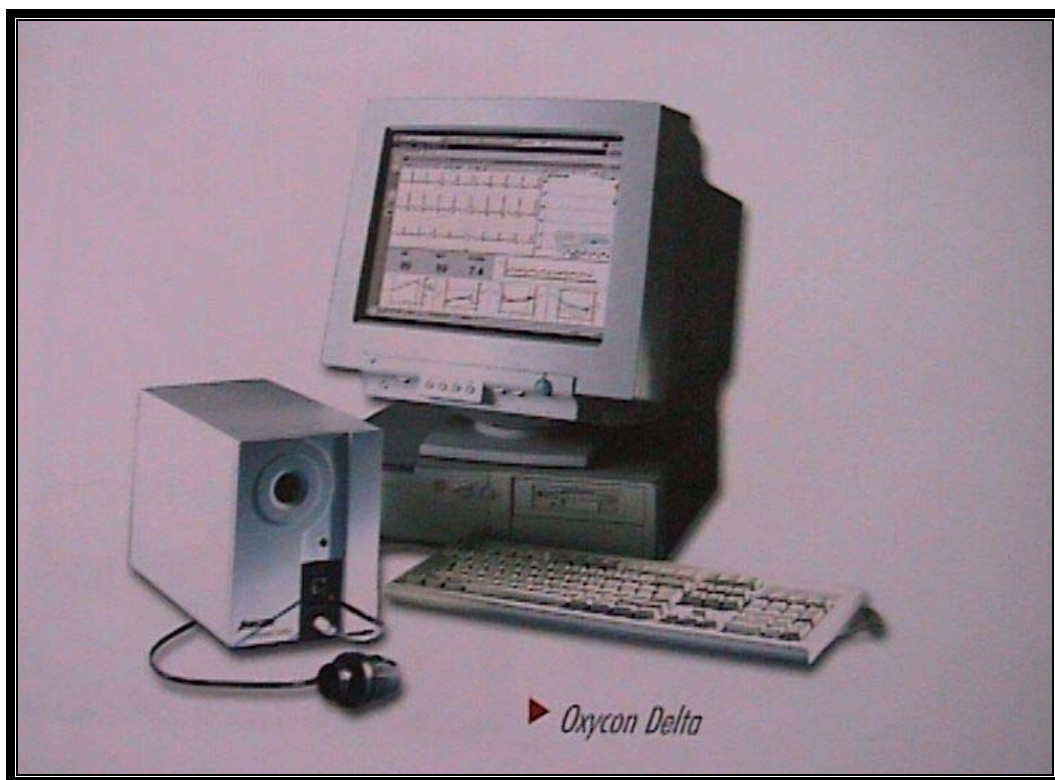


Abb. 66: Das moderne Spirogerät Oxycon Delta der Firma E. Jaeger / Würzburg-Höchstberg.

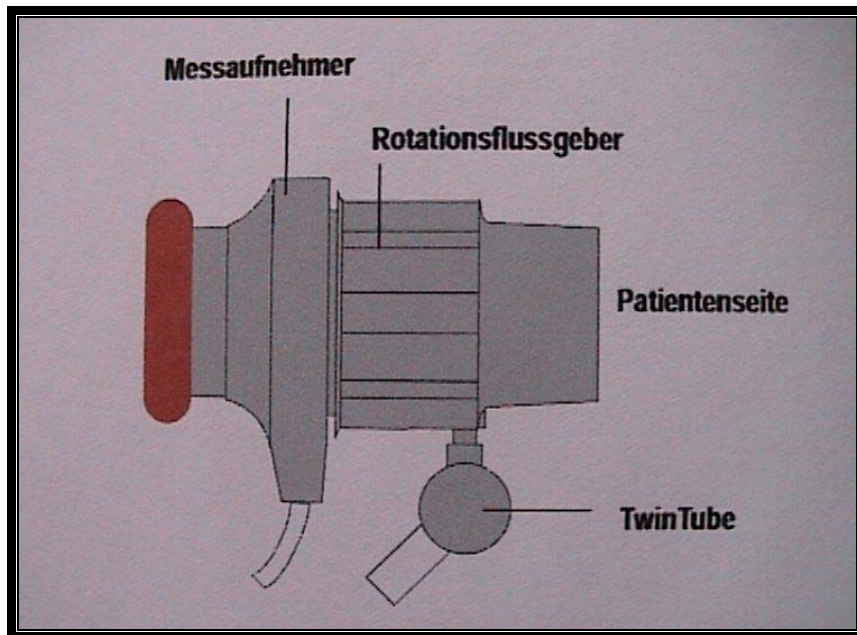


Abb. 67: Digitaler Volumensensor “TripleV” für die Ventilationsmessung.

Die Abb. 68 zeigt den Aufbau des **Oxycon Delta** für meine experimentellen Untersuchungen – **Gruppe Athleten 2002** – im Spiroergometrie-Labor des Lehrstuhls für Sportmedizin der JLU – Gießen.



Abb. 68: Modernster Spiroergometriemeßplatz “Oxycon Delta” der Firma E. Jaeger / Würzburg-Höchberg im Sportmedizinischen Institut der JLU – Gießen.

3.2.3 Messgrößen und Messmethoden

Zur Ermittlung der **qualitativen** und **quantitativen corporalen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen** und **metabolischen** Parameter wurden folgende **Messmethoden** angewandt:

3.2.3.1 Körperliche Leistungsfähigkeit

3.2.3.1.1 Gesamtarbeit in Wattminuten

Die absolute **Gesamtarbeit** in **Wattminuten** als Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit errechnet sich aus **der Summe der getretenen Wattstufen**. Wird die höchste Wattstufe z. B. **300 Watt** nur noch **30''** getreten, werden zur Gesamtarbeit auch nur **150 Wattminuten** addiert. **15''** entsprechend **25%** von **300 Watt = 75 Watt**. Ein Proband mit einem Körpergewicht von **80 kg** und einer **maximalen relativen Leistung** von **0,5 Minuten 5 Watt/kg KG** erreicht nach dem Gießener Belastungsschema eine **Belastungszeit von 8,5 Minuten** und somit eine Summe der **Gesamtarbeit von 1800 Wattminuten** (**80 Wattmin + 80 Wattmin + 160 Wattmin + 160 Wattmin + 240 Wattmin + 240 Wattmin + 320 Wattmin + 320 Wattmin + 200 Wattmin = 1800 Wattminuten**).

Ein untrainierter Proband mit **80 kg** Körpergewicht erreicht nach **5,5 Belastungsminuten**, also am Ende von **1,5 Minuten 3 Watt/kg KG = 240 Watt** insgesamt nur **840 Wattminuten**.

Ein Hochleistungsathlet mit **70 kg** Körpergewicht erreicht nach **12 Belastungsminuten** am Ende von **2 Minuten 6 Watt/kg KG = 420 Watt**, somit insgesamt **2940 Wattminuten**.

Unterschiedliche erschöpfende ergometrische Belastungsmethoden können die Gesamtarbeit in Wattminuten erheblich beeinflussen. Vergleichende Untersuchungen der körperlichen Leistungsfähigkeit mit dem Parameter Gesamtarbeit in Wattminuten sind deshalb nur sinnvoll, wenn immer das gleiche Belastungsverfahren angewandt wird.

3.2.3.1.2 Maximale absolute Wattstufe

Die **maximale Leistung** des Probanden wird **in der letzten Belastungsstufe** in **Watt** gemessen und als **absolute maximale Wattstufe** angegeben. Dabei ist nicht maßgebend ob der Abbruch bereits nach **1 Minute** der Belastung erfolgt oder ob die Leistungsstufe noch **2 Minuten** lang bis zum Eintritt der Erschöpfung durchgehalten wird. Aus diesem Grunde ist die Angabe der ergometrischen Belastungszeit zur weiteren Differenzierung sehr wichtig.

Ein **80 kg schwerer** Proband, der **320 Watt** für **1 Minute** erreicht, entsprechend **7 Minuten Belastungszeit**, ist **befriedigend trainiert**. Dagegen wird nach dieser Methode ein Spieler mit **2 Minuten 320 Watt**, entsprechend **8 Minuten Belastungszeit**, als **gut trainiert** beurteilt.

3.2.3.1.3 Maximale relative Wattstufe

Die **maximale relative Wattstufe** ergibt sich zwangsläufig aus der erreichten **W/kg KG-Stufe** bei dem Belastungsverfahren nach **NOWACKI 1971**.

Werden andere ergometrische Leistungstests, z. B. nach **MELLEROWICZ 1962**, **HOLLMANN 1974**, **KNIPPING 1960** und dem **Bundesausschuss für Leistungssport** in Deutschland (**BAL**) eingesetzt, wird die erreichte **Vita maxima-Wattstufe** durch das Körpergewicht in kg geteilt und auf eine Stelle nach dem Komma aufgerundet.

Zum **Beispiel**: maximale absolute Wattstufe **400 Watt**, Körpergewicht **82 kg**, entsprechend **400 Watt : 82 kg = 4,9 W/kg KG**. Erreicht ein **Ruderer** mit **94 kg** Körpergewicht nach der von **NOWACKI** inaugurierten ergometrischen Belastungsmethode für diese Sportart (Beginn mit **250 Watt**, Steigerung alle **2 Minuten** um **50 Watt**) **500 Watt**, entspricht das einer **maximalen relativen Wattstufe** von **500 Watt : 94 kg = 5,3 W/kg KG**.

3.2.3.1.4 Belastungszeiten

Die **Belastungszeit** der Ergometriemethoden gibt den Zeitabstand vom Testanfang bis zu dem Punkt der subjektiven und objektiven Erschöpfung in **Minuten** an.

Für die **leistungstärksten Athleten** meiner Studie betragen die **Belastungszeit** bei der **Rudermethode 12 Minuten**, bei der **1 W/kg KG-Methode 14 Minuten**, bei dem **BAL-Verfahren 18 Minuten**, bei dem **KNIPPING-Verfahren 21 Minuten**, bei der **0,5 W/kg KG-Methode 24 Minuten** und bei dem **HOLLMANN-Verfahren 29 Minuten**.

Bei ergometrischen Messungen sind **ökonomische Prinzipien** ebenfalls zu beachten, was besonders für die Belastungszeit bis zum Erreichen des **Erschöpfungspunktes** gilt.

Die Messungen sind mit möglichst **geringem zeitlichen** und **apparativen Aufwand** durchzuführen. Es ist **unrationell** und **unnötig** zeitaufwendig, wenn für eine ergometrische Messung z. B. **24 Minuten** und mehr verwandt werden müssen, wenn ein **vergleichbares, reproduzierbares, valides** Ergebnis in **8-10 Minuten** erzielt werden kann. Hinsichtlich des zeitlichen und apparativen Aufwandes in der Ergometrie gilt der **Grundsatz**: “*So wenig wie möglich – so viel wie nötig*“ (MELLEROWICZ 1979).

3.2.3.1.5 Physical Working Capacity – PWC₁₇₀

Die PWC₁₇₀ entspricht einer Leistung auf dem Ergometer, welche bei einer **Herzfrequenz** von **170 Schlägen pro Minute** tatsächlich erreicht wird oder rechnerisch ermittelt werden kann. Basierend auf der **Linearität** des **Herzfrequenzverhaltens** in einem Bereich **zwischen 120 bis 170** Schlägen pro Minute wird die PWC₁₇₀ nach folgenden Formeln (NOWACKI, SCHÄFER 1984) berechnet:

Formel 1: Bei einer **Herzfrequenz (Hf₂)** unter 170 Schläge/min

$$\text{PWC}_{170} = L_2 + \frac{L_2 - L_1}{Hf_2 - Hf_1} (170 - Hf_2)$$

Formel 2: Bei einer **Herzfrequenz (Hf₂)** über 170 Schläge/min

$$\text{PWC}_{170} = L_2 - \frac{L_2 - L_1}{Hf_2 - Hf_1} (Hf_2 - 170)$$

Dabei bedeuten:

L₁ = niedrigere Leistungsstufe

L₂ = höhere Leistungsstufe

Hf₁ = Herzfrequenz in der ersten Belastungsminute von **L₁**

Hf₂ = Herzfrequenz in der ersten Belastungsminute von **L₂**

Durch die **graphische Darstellung** der **PWC₁₇₀** lassen sich die Beziehungen zwischen den Leistungsstufen **L₁** und **L₂** und den entsprechenden Herzfrequenzen **Hf₁** und **Hf₂** im Submaximalbereich noch besser verdeutlichen (Abb. 69).

Beispiel 1:**Ein Fußballspieler mit 75 kg Körpergewicht**

L₁ = 300 Watt **Hf₁** = 148 Schläge / min

L₂ = 375 Watt **Hf₂** = 165 Schläge / min

$$\text{Formel 1: PWC}_{170} = 375 + \frac{375 - 300}{165 - 148} (170 - 165) = 375 + (4,41 * 5)$$

$$\text{PWC}_{170} = 397 \text{ Watt} = 5,3 \text{ Watt/kg KG}$$

Beispiel 2:**Ein Tennisspieler mit 71 kg Körpergewicht**

L₁ = 140 Watt **Hf₁** = 155 Schläge / min

L₂ = 210 Watt **Hf₂** = 178 Schläge / min

$$\text{Formel 2: PWC}_{170} = 210 - \frac{210 - 140}{178 - 155} (178 - 170) = 210 - (3,04 * 8)$$

$$\text{PWC}_{170} = 186 \text{ Watt} = 2,6 \text{ Watt/kg KG}$$

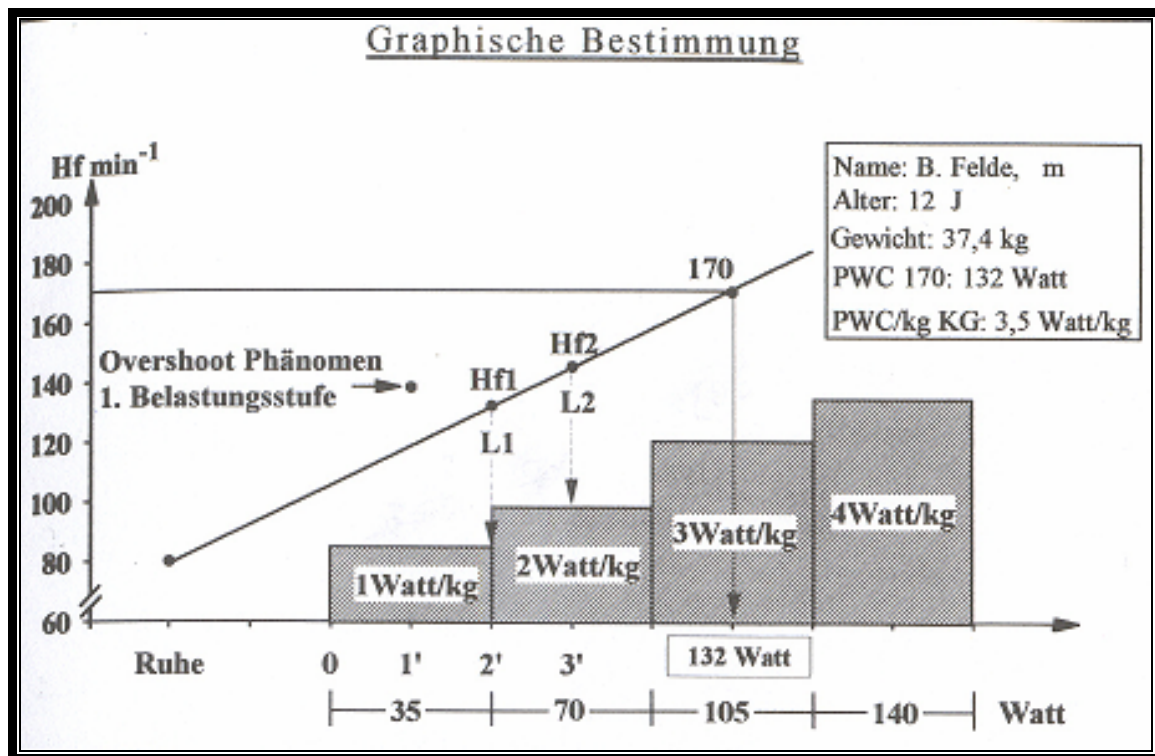


Abb. 69: Berechnung der PWC₁₇₀ auf der Grundlage des linearen Anstiegs der Herzfrequenz im submaximalen Bereich bei der Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 Watt/kg KG-Methode. Das Beispiel für einen C-Jugend-Fußballspieler wurde aus der Dissertation von KIM 1994 entnommen.

3.2.3.2 Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit

3.2.3.2.1 Herzschlagfrequenz

Die **Herzschlagfrequenz** wurde aktuell bei der **Fahrradspiroergometrie** aus dem **Elektrokardiographen (MAC 1200 ST)** mit der **Standardsoftware** für die Betriebsarten (Automatik, Manuell und Arrhythmie) der Firma **GE Medical Systems Information Technologies GmbH, Freiburg, Deutschland**, in den **letzten 10 Sekunden** jeder Minute **vor, während und nach der Belastung** registriert. Zusätzlich konnte jede Herzaktion auf einem **Display** beobachtet werden. Die Herzschlagfrequenz werden alle **15 Sekunden** registriert, ein entsprechender **Bericht** wird durch das Gerät erstellt (Abb. 70).



Abb. 70: Elektrokardiographische Registrierung (EKG) und Herzfrequenzmessung mit dem Elektrokardiographen (MAC 1200 ST) sowie Standardsoftware für die Betriebsarten (Automatik, Manuell und Arrhythmie) der Firma GE Medical Systems Information Technologies GmbH, Freiburg.

Die Registrierung bei den früheren Untersuchungen erfolgte durch ein **Ergo-Ekg** mit dem Sechsfachschreiber “ **Multiscriptor EK 27** “ der Firma **Hellige**, Freiburg / Breisgau und einem **Null-Lineal** bzw. einem **EKG-Lineal** der Firma **Dr. Karl Thomae**, Biberach a. d. Riss und daraus wurde die Minutenfrequenz abgelesen.

Bei schwerer Muskularbeit dagegen findet man über die gesamte Arbeitszeit einen fortgesetzten **Pulsanstieg**, der von **MÜLLER** als “ **Ermüdungsanstieg** “ bezeichnet wurde. Nach Arbeitsende kehrt die **Pulsfrequenz** relativ langsam zum Ruhewert zurück (Abb. 71).

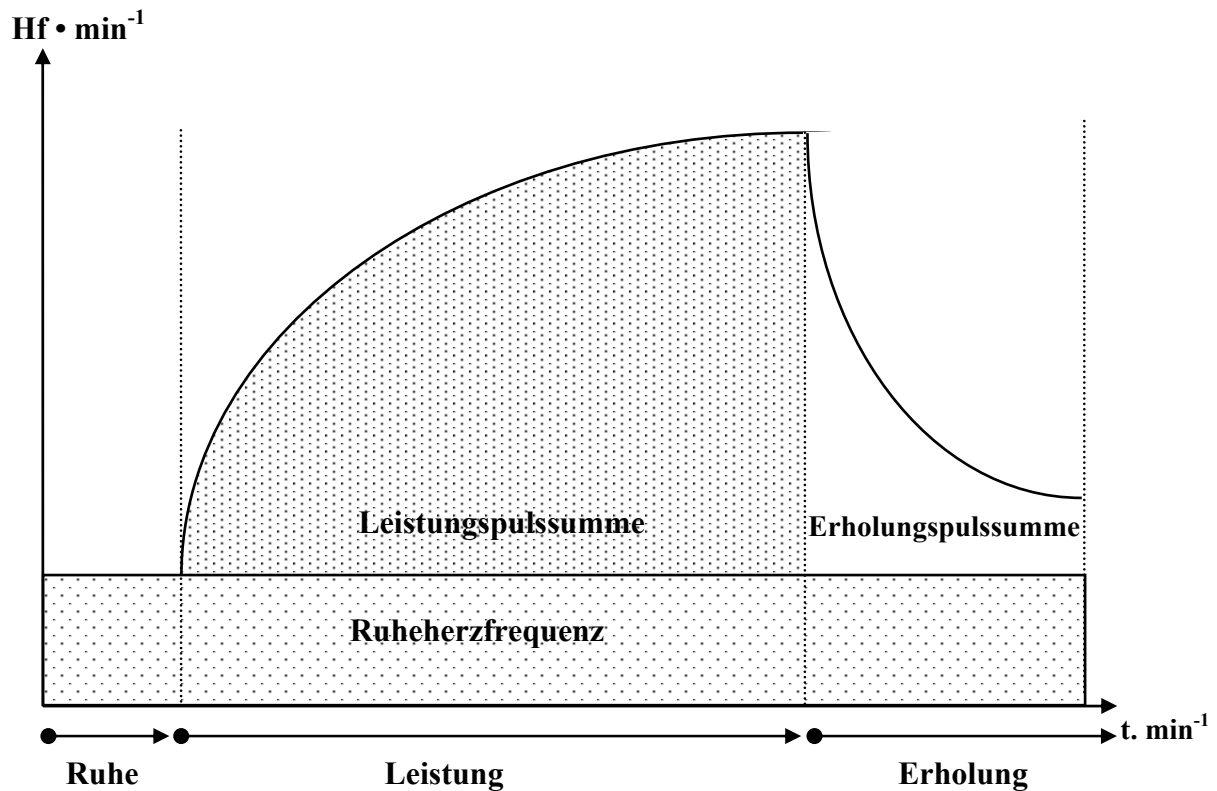


Abb. 71: Leistungspuls- und Erholungspulssumme während und nach körperlicher Belastung nach MÜLLER.

Die **Summe** der **Herzfrequenzwerte** der Probanden, die in der Leistungsphase über dem Ruheausgangswert liegen, ist als **Leistungspulssumme** zu verstehen.

Analog dazu setzt sich die **Erholungspulssumme** aus den über dem Ausgangswert liegenden Erholungspulsen zusammen. Zur Berechnung beider Werte werden jeweils die Minutenwerte der Herzfrequenzen genommen.

Die **Erholungspulssumme** ist eine Funktion der **Ermüdung** und der **Erholung**. Sie wird um so größer, je stärker die Ermüdung, um so kleiner dagegen, je stärker die Erholung in der gleichen Zeit ist (**MÜLLER 1961**).

Die **Ruhe-Herzfrequenzwerte** betrugen im Durchschnitt bei den untrainierten Probanden **65 min^{-1}** , bei den befriedigend und gut trainierten Probanden **60 min^{-1}** , bei den sehr gut trainierten Probanden **55 min^{-1}** und bei den Hochleistungsathleten **50 min^{-1}** .

3.2.3.2.2 Blutdruck

Die **Blutdruckmessung** erfolgte indirekt mit der **auskultatorischen Methode** nach **RIVA-ROCCI** und **KOROTKOW** unter Verwendung eines geeichten **Quecksilbermanometers**. Die Empfehlungen der Kommission der Deutschen Gesellschaft für Kreislaufforschung und der Deutschen Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks in Übereinstimmung mit der Weltgesundheitsorganisation wurden eingehalten (**BOCK** u. **Mitarb.** 1971, **FRANZ** 1984). Das gilt besonders für die richtige Wahl der **Manschettengröße** sowie deren korrekten Sitz am **rechten Oberarm**. Neben der richtigen Wahl der Auskultationsstelle in der Ellenbeuge über der Arteria cubitalis wurde auch darauf geachtet, dass das **Stethoskop** nur leicht aufgesetzt wird, da durch einen zu starken Druck ein falscher, zu niedriger **diastolischer** Blutdruck gemessen werden kann (Abb. 72).



Abb. 72: Fahrradspiroergometrie bei einem sehr gut trainierten Athleten und Messung des Blutdrucks mit gleichzeitiger Pulskontrolle durch Prof. Dr. P.E. Nowacki mit dem Stand-Blutdruckgerät (Erkameter) der Firma Erka.

Die Messung des **systolischen** und **diastolischen** Blutdruckes erfolgte in **Ruhe**, am Ende der **zweiten Belastungsminute**, also bei **1 Watt/kg**, am Ende der **vierten Belastungsminute** bei

2 Watt/kg, unmittelbar nach Erreichen des **Erschöpfungspunktes** sowie am Ende **jeder der fünf Erholungsminuten**.

Von diesem Vorgehen wurde nur abgewichen, wenn bei den RR Messungen im submaximalen Bereich **hypertone Werte** zu registrieren waren. Bei einer solchen Situation hat die Diagnostik Vorrang vor dem Vita maxima- Experiment. Die RR-Messung wird dann in jeder Belastungsstufe fortgesetzt und vor allem auch der Blutdruck unmittelbar vor dem Erschöpfungspunkt registriert. Die wiederholten RR-Messungen können sich für den Athleten durch das kurzfristige Wegnehmen der Hand vor der Lenkstange etwas hinderlich auswirken, so dass gelegentlich der Abbruch schon 30 Sekunden früher als ohne die kontinuierliche RR-Messung erfolgt.

3.2.3.3 Respiratorische Leistungsfähigkeit

3.2.3.3.1 Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen (**AMV l**) als Produkt von Atemzugvolumen (**AZV ml**) und Atemfrequenz (**Af • min⁻¹**) wurde halbminütlich unter **BTPS**-Bedingungen pneumotachographisch nach **FLEISCH 1956** und **E. Jaeger, Würzburg**, registriert.

Als **Treppenkurve** wurde das AZV und die Af mit einem Hellige-6 fach-Schreiber aufgezeichnet und für jede Minute entweder per Hand ausgemessen und ausgerechnet oder über einen angeschlossenen Computer berechnet.

Das **Atemminutenvolumen** wird berechnet nach der **Formel**:

$$\text{AMV l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ BTPS} = \text{AZV ml BTPS} \bullet \text{Af} \bullet \text{min}^{-1}$$

$$\text{AMV l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{AMV l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ ml BTPS} \bullet \text{Umrechnungsfaktor}$$

BTPS = Body Temperature Pressure Saturated: **37° C, 760 mmHg, 100% H₂O**

STPD = Standard Temperature Pressure Dry: **0° C, 760 mmHg, 0% H₂O**

3.2.3.3.2 Gesamt- und Mehr-Atmung

Die **Gesamt- und Mehr-Atmung** werden berechnet nach den **Formeln**:

$$\text{Ruhe-AMV l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ BTPS} = \text{Körpergewicht kg} \cdot 100 / 1000$$

$$\text{Gesamt-Atmung } \dot{V}_{E, L} \text{ l BTPS} = \text{Addition-AMV in der Leistungsphase}$$

$$\text{Mehr-Atmung } \dot{V}_{E, L} \text{ l BTPS} = \text{Gesamt. AMV. L} - (\text{Ruhe-AMV} \cdot \text{Belastungszeit})$$

$$\text{Gesamt-Atmung } \dot{V}_{E, E5} \text{ l BTPS} = \text{Addition-AMV in der Erholungsphase}$$

$$\text{Mehr-Atmung } \dot{V}_{E, E5} \text{ l BTPS} = \text{Gesamt. AMV. E5} - (\text{Ruhe-AMV} \cdot \text{Erholungszeit})$$

Die Abb. 73 zeigt **schematische** das Vorgehen bei der Berechnung der **Mehr-Atmung**.

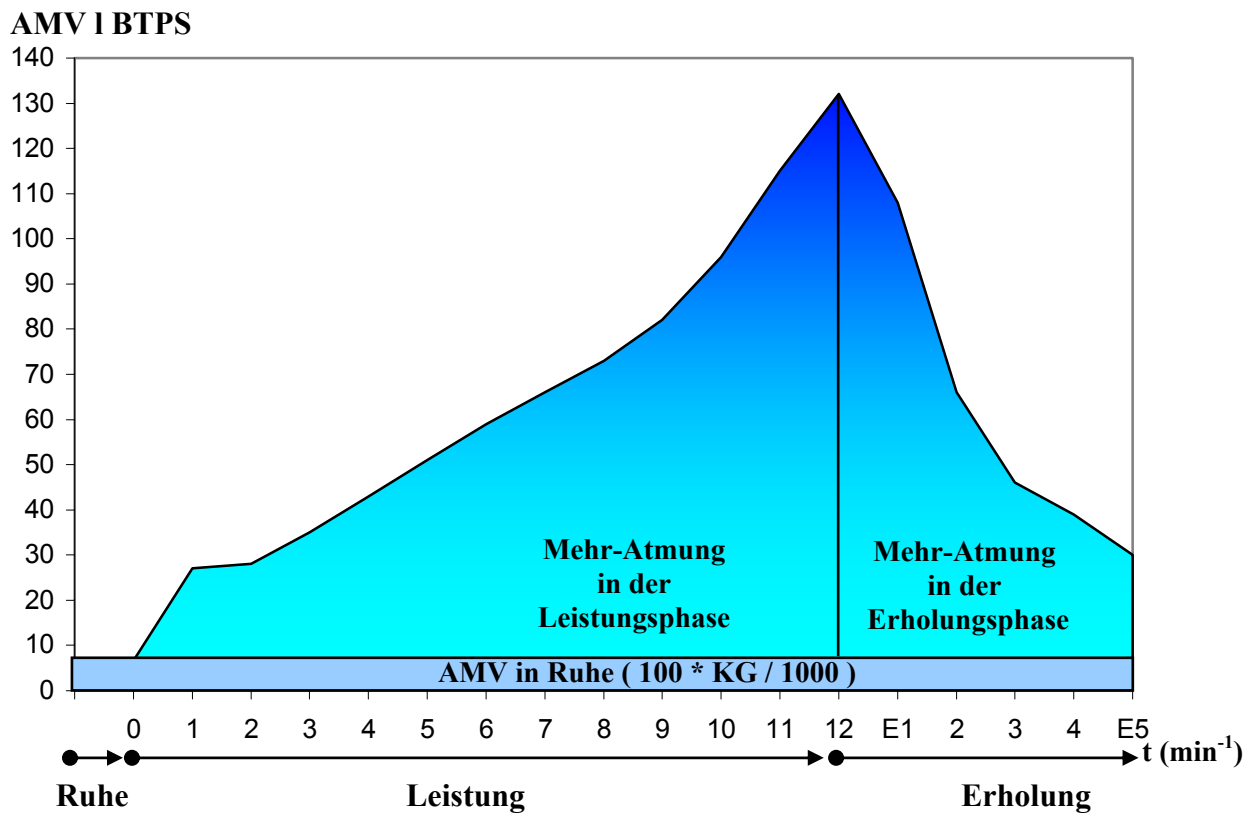


Abb. 73: Mehr-Atmung in der Leistungsphase und Erholungsphase bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode.

Die Methoden der computergesteuerten pneumotachographischen Registrierung des **Atemminutenvolumens** und der **Atemgasmessungen** nach der **Wärmeleitmethode** wurden ausführlich von **MÄURER** (1977) und **NOWACKI** (1977) beschrieben.

Das Messgerät wurde zuvor wie folgt geeicht: 1 cm Schreiberausschlag in **MB 1 = 12 l AMV**, in **MB 2 = 24 l AMV** und in **MB 4 = 48 l AMV**. Der MB 4-Bereich ermöglicht somit die Registrierung von **Atemminutenvolumina** bis zu **200 l**, womit praktisch der **gesamte Leistungssportbereich**, besonders für die Sportsportarten, abgedeckt wird.

Die Messung der **Gaskonzentrationen** für **Kohlendioxid** (CO₂ Vol %) und **Sauerstoff** (O₂ Vol %) erfolgt nach dem Wärmeleitprinzip. Die Konzentrationen werden fortlaufend

alternierend gemessen und graphisch dargestellt sowie manuell oder über einen Computer ausgewertet. Die **prozentuale Sauerstoffaufnahme** und **Kohlendioxydausscheidung** wird durch die Höhe der Schreiberausschläge dieser Minute bestimmt bzw. entsprechend der **Anzeigeverzögerung** 15 Sekunden später abgelesen.

Das neue moderne Gerät **Oxycon Delta** bietet uns Komfort und Schnelligkeit in der Bedienung, wie es bisher noch nie erreicht werden konnte. Einfachster Programmablauf durch **Maus** und/oder **Funktionstasten** Bedienung, gezielte Hinweise durch Hilfsfunktionen, flexible **Protokollgestaltung** und ein leistungsfähiges **Datenbanksystem** sind die sich daraus ergebenden Vorteile. Mit dem Ergospirometrie- Messprogramm “ **Breath by Breath** “ können die **respiratorischen Parameter** in Ruhe und bei Belastung bestimmt werden. Am Probanden wird ein **Atemmundstück** oder eine **Atemmaske** adaptiert, an der sich der **TripleV-Sensor** befindet. Die Parameter werden berechnet und in logisch zusammengestellten frei generierbaren **Graphikgruppen** am **Bildschirm** dargestellt. Bei der **Auswertung** hilft das Programm “ **Intelli Support** “. Nach der Untersuchung können alle **gemessenen** bzw. **einggegebenen Daten** wahlweise am **Bildschirm** und / oder am **Drucker** ausgegeben werden.

3.2.3.4 Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit

3.2.3.4.1 Absolute Sauerstoffaufnahme

Die **Absolute Sauerstoffaufnahme** ist definiert als die **aufgenommene Sauerstoffmenge** in einer bestimmten Zeiteinheit.

Der Wert für die jeweilige Sauerstoffaufnahme in $\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ wird aus dem Produkt des **Atemminutenvolumens STPD** und der **Sauerstoffdifferenz** zwischen der **In-** und **Expirationsluft** in Volumenprozent berechnet.

Die **Absolute Sauerstoffaufnahme** wird berechnet nach der **Formel**:

$$\dot{V}\text{O}_2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{AMV l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD} \cdot \text{Vol \% O}_2 \text{ Diff} \cdot \text{In- minus Expirationsluft}$$

Errechnet wurden die Werte vor dem **Start** und in **minütlichen** Abständen während der **Belastungs-** und **Erholungsphase**. Der **Maximalwert** der Sauerstoffaufnahme wird in der Regel in der **letzten Leistungsminute** erreicht. In ca. 5 % der erschöpfenden Spiroergometrien bei Leistungssportlern auch schon in der vorletzten Minute, d. h., es wird ein **Levelling-Off-Phänomen** mit Abfall der Sauerstoffaufnahme in der letzten Minute beobachtet (**NOWACKI** 1977, **SCHÖLL** 1995).

3.2.3.4.2 Relative Sauerstoffaufnahme

Die **relative Sauerstoffaufnahme** in $\text{ml} \bullet \text{kg}^{-1} \bullet \text{min}^{-1}$ STPD errechnet sich aus dem Quotienten zwischen der absoluten Sauerstoffaufnahme ml STPD und dem Körpergewicht (kg) des Probanden.

Die **relative Sauerstoffaufnahme** wird berechnet nach der **Formel**:

$$\dot{V}\text{O}_2 \text{ ml} \bullet \text{kg}^{-1} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \frac{\dot{V}\text{O}_2 \text{ ml} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD}}{\text{Körpergewicht kg}}$$

3.2.3.4.3 Sauerstoffpuls

Der **Sauerstoffpuls** gibt an, wieviel Milliliter **Sauerstoff** in der Zeit einer **ganzen Herzaktion** (**Systole** und **Diastole**) aufgenommen werden. Er zeigt den Grad der Leistungsfähigkeit und die Ökonomie der Herzarbeit an.

Der Wert der jeweiligen Sauerstoffaufnahme STPD pro Minute wird durch die entsprechende **Herzschlagfrequenz** dividiert.

Der **Sauerstoffpuls** wird berechnet nach der **Formel**:

$$\dot{V}\text{O}_2 \text{ ml} \bullet \text{Hf}^{-1} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \frac{\dot{V}\text{O}_2 \text{ ml} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD}}{\text{Hf} \bullet \text{min}^{-1} \text{ in dieser Minute}}$$

3.2.3.4.4 Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme

Die **Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme** werden berechnet nach den **Formeln**:

$$\begin{aligned}
 \text{Ruhe-}\dot{V}O_2 \text{ l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} &= \text{Körpergewicht kg} \cdot 3,5 / 1000 \\
 \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \text{ l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} &= \text{Addition-}\dot{V}O_2 \text{ in der Leistungsphase} \\
 \text{Mehr. } \dot{V}O_2 \text{ l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} &= \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \text{ l} - (\text{Ruhe-}\dot{V}O_2 \cdot \text{Belastungszeit}) \\
 \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \text{ 5E l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} &= \text{Addition- } \dot{V}O_2 \text{ in der Erholungsphase} \\
 \text{Mehr. } \dot{V}O_2 \text{ 5E l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} &= \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \text{ 5E l} - (\text{Ruhe-}\dot{V}O_2 \cdot 5' \text{ Erholungszeit})
 \end{aligned}$$

3.2.3.4.5 Sauerstoffschuld

Die **Gesamtsauerstoffschuld** wird berechnet nach den **Formeln**:

$$\begin{aligned}
 \text{Gesamtsauerstoffschuld} \quad 100 \% &= \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \cdot X' \text{ E l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} - \\
 &\quad (\text{Vorstart-}\dot{V}O_2 \cdot X' \cdot \text{Erholungszeit}) \\
 \text{Gesamtsauerstoffschuld} \quad 5' \text{ E } 55 \% &= \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \cdot X' \text{ E l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} - \\
 &\quad (\text{Vorstart-}\dot{V}O_2 \cdot X' \cdot 5' \text{ Erholungszeit}) \\
 \text{Gesamtsauerstoffschuld} \quad 10' \text{ E } 75 \% &= \text{Gesamt. } \dot{V}O_2 \cdot X' \text{ E l} \bullet \text{ min}^{-1} \text{ STPD} - \\
 &\quad (\text{Vorstart-}\dot{V}O_2 \cdot X' \cdot 10' \text{ Erholungszeit})
 \end{aligned}$$

In meiner Studie wird die **Gesamtsauerstoffschuld 100 %** berechnet nach der **Formel**:

$$\text{Gesamtsauerstoffschuld} \quad 100 \% = \text{Mehr. } \dot{V}O_2 \text{ 5E} \cdot 100 / 55$$

Die Abb. 74 zeigt die **schematische Darstellung** zur **Berechnung** der **Gesamtsauerstoffschuld** (100 %) aus der 5-Minuten- (55 bis 60 %) und 10-Minuten-Sauerstoffschuld (70 bis 75 %) nach **NOWACKI 1980**.

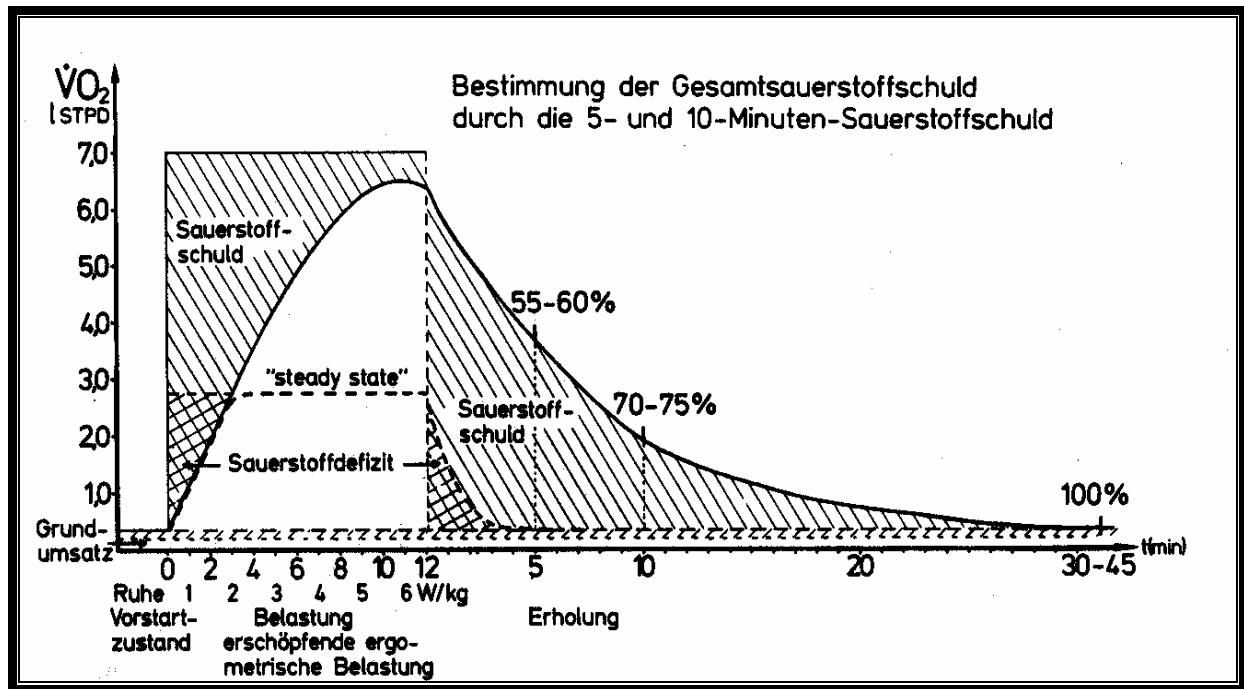


Abb. 74: Schematische Darstellung zur Berechnung der Gesamtsauerstoffschuld (100 %) aus der 5-Minuten- (55 bis 60 %) und 10-Minuten-Sauerstoffschuld (70 bis 75 %) nach NOWACKI 1980.

3.2.3.4.6 Absolute Kohlendioxidabgabe

Der Wert für die jeweilige **Kohlendioxydabgabe** in l pro Minute (**l STPD**) wird aus dem Produkt von **Atemminutenvolumen** (**l STPD**) und dem **prozentualen CO₂-Gehalt** der **Expirationsluft** gebildet. Die Bildung einer Differenz zwischen der **In-** und **Expirationsluft**, wie beim **Sauerstoff**, ist nicht erforderlich, da die **CO₂-Konzentration** in der Einatemungsluft mit **0,03 Vol % CO₂** zu vernachlässigen ist.

Die **Absolute Kohlendioxidabgabe** wird berechnet nach der **Formel**:

$$\dot{V}CO_2 \text{ l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{AMV l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} \bullet \text{Vol \% CO}_2 \text{ Expirationsluft}$$

3.2.3.4.7 Gesamt- und Mehrkohlendioxidabgabe

Die **Gesamt- und Mehrkohlendioxidabgabe** werden berechnen nach den **Formeln**:

$$\text{Ruhe-}\dot{V}\text{CO}_2 \text{ l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{Körpergewicht kg} \cdot 3 / 1000$$

$$\text{Gesamt. } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{Addition-}\dot{V}\text{CO}_2 \text{ in der Leistungsphase}$$

$$\text{Mehr. } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{Gesamt. } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ l} - (\text{Ruhe-}\dot{V}\text{CO}_2 \cdot \text{Belastungszeit})$$

$$\text{Gesamt. } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ 5E l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{Addition- } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ in der Erholungsphase}$$

$$\text{Mehr. } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ 5E l} \bullet \text{min}^{-1} \text{ STPD} = \text{Gesamt. } \dot{V}\text{CO}_2 \text{ 5E} - (\text{Ruhe-}\dot{V}\text{CO}_2 \cdot 5' \text{ Erholungszeit})$$

3.2.3.5 Metabolische Leistungsfähigkeit

Die Bestimmung der **Milchsäure (Laktat)** ist notwendig, um die **Stoffwechselsituation** während der Arbeit qualitativ beurteilen zu können (**NOWACKI 1977**).

Durch den **Übergang** von der **aeroben** Arbeitsweise der Muskulatur in den **anaeroben** Bereich steigt die **Produktion** der **Milchsäure** durch den unvollständigen Abbau des **Glykogens** bzw. der Glukose infolge des **Sauerstoffmangels** im **Zitronensäurezyklus** im Blut der Muskulatur, praktisch im gesamten Zellsystem an (**KEUL, DOLL, KEPPLER 1968, 1969, KINDERMANN, HUBER, KEUL 1975, MADER u. Mitarb. 1976, LÖFTLER, PETRIDES 1997, WAGENMÄHER 2001**).

Bei einem **guten Trainingszustand** beginnt der **Laktatanstieg** erst bei einer **höheren Belastungsstufe** und verläuft **langsamer** als bei **Untrainierten**. Durch eine zu hohe **Ansammlung** der Milchsäure im **Muskelgewebe** ist seine Arbeitsweise beeinträchtigt (**Azidose**). Die notwendigen **biochemischen Vorgänge** können in einer **übersäuerten Umgebung** nicht stattfinden. Es kommt zu einer **raschen Ermüdung**. **Gut trainierte Sportler** können bis zu **2 – 4 Minuten** im **extrem übersäuerten Bereich** arbeiten (**NOWACKI 1977, HECK 1990**).

Eine **Blutabnahme** aus dem **hyperämisierten Ohrläppchen** des Probanden erfolgte **vor** der Fahrradspiroergometrie und in der **Belastungsphase** in der **2. Minute**, **4. Minute** und **letzten Minute** sowie in der **3. Erholungsminute** (Abb. 75).

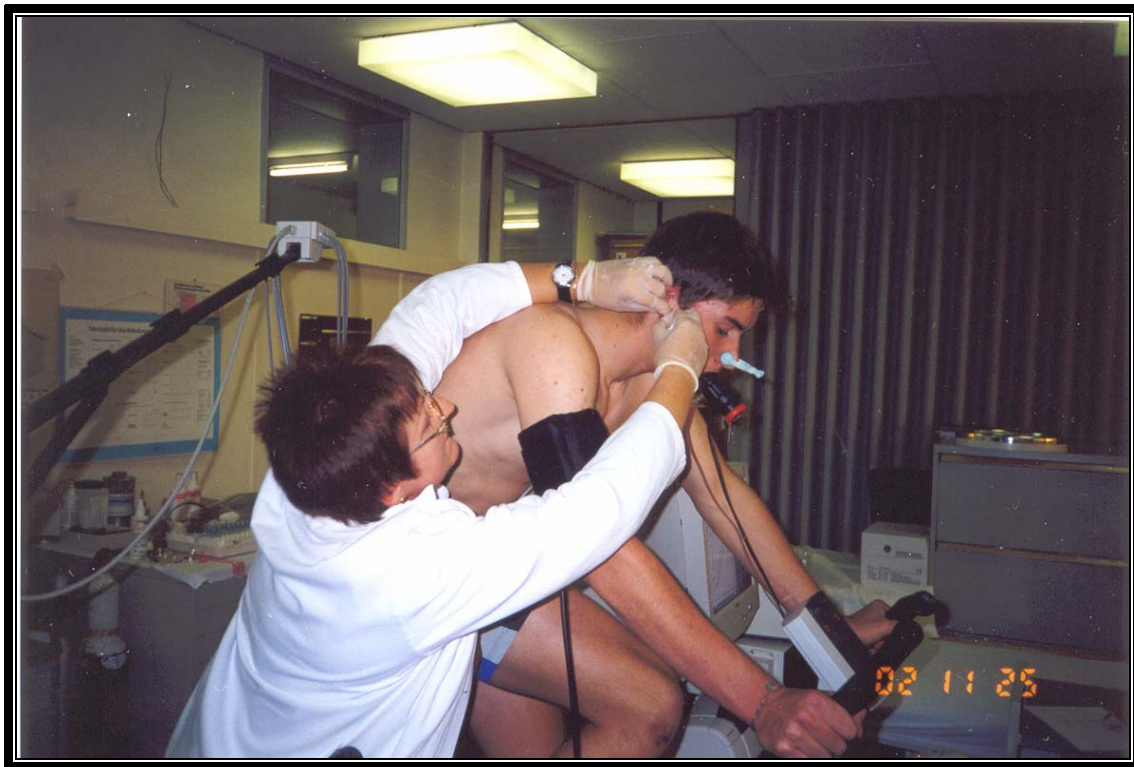
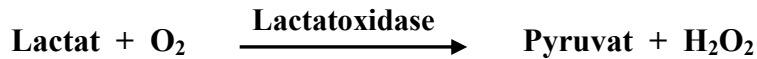


Abb. 75: Fahrradspiroergometrie bei einem sehr gut trainierten Athleten und Blutabnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen.

Nach Abnahme von **10 Mikroliter** Blut wurde die Probe in einem vorbereiteten **Röhrchen** durch leichtes Schwenken mit einer **Pufferlösung** vermischt. Das Blut wird in der Pufferlösung sofort und vollständig hämolysiert (**LOX-PAP-Methode**) (**BÖNING, CLASING, WEICKER 1994**).

Die Bestimmung des **Laktatgehaltes** erfolgte über ein Auswerteverfahren, das im **Miniphotometer 8** programmiert war. Durch eine Startreagenz, die sich in den **Verschlusskappen** der **Röhrchen** befindet, wird folgende Reaktion in Gang gebracht:



Das **Messprinzip** basiert darauf, dass die Polarisierung der Molekülgröße zunimmt. Das Photometer misst das 4-Phenazon, vergleicht es mit einem Nullwert bzw. der Standardlösung und zeigt den daraus errechneten **Laktatwert** in **mmol/l** an (**GREILLING, GRESSNER** 1987, **KILLICH** 2001).

3.3 Statistik

Für folgende **Funktionsgrößen** wurden die **Mittelwerte** (\bar{x}) und die **Standardabweichungen** (s) ermittelt:

- ❖ Absolute und relative Wattstufe
- ❖ Belastungszeit
- ❖ Absolute PWC₁₇₀
- ❖ Absolute Gesamtarbeit
- ❖ Aerobe und anaerobe Gesamtarbeit
- ❖ Pulssumme in der Leistungs- und Erholungsphase
- ❖ Blutdruck (Vor, Submax, Max, 5. Erholungsminute)
- ❖ Maximales Atemminutenvolumen
- ❖ Gesamt-, Mehr-Atmung in der Leistungsphase, Mehr-Atmung in der Erholungsphase sowie Aerober und Anaerober Anteil der Gesamtventilation
- ❖ Sauerstoffaufnahme (Max absolute und relative, sowie Gesamt- und Mehr- in der Leistungs- und Erholungsphase)
- ❖ Max Sauerstoffpuls
- ❖ Gesamt Sauerstoffschuld
- ❖ Kohlendioxidabgabe (Gesamt- und Mehr- in der Leistungs- und Erholungsphase)
- ❖ Laktat (Vor, Submax, Erschöpfung, 3'. E)

Die **statistische Auswertung** der Daten erfolgte weiterhin und schwerpunktmäßig mit dem **SPSS Version 9**. Die Prüfung auf **statistisch signifikante Unterschiede** wurde mit Hilfe der **einfachen Varianzanalyse** geprüft und die Signifikanz der Mittelwertsunterschiede festgestellt. Im Falle, dass das Ergebnis der Varianzanalyse signifikant ausgefallen ist, wurden Einzelprüfungen zwischen jeweils zwei Stichproben durchgeführt. Aus **wahrscheinlichkeitstheoretischen** Gründen wird dabei nicht auf den **t-Test** zurückgegriffen (**WILLIMCZIK 1999**).

Die Verwendung mehrerer **t-Tests** ist nicht zu empfehlen, da die wiederholte Testung des gleichen Datenmaterials zu einer impliziten Erhöhung der Irrtumswahrscheinlichkeit führt. Ein häufig angewendeter **post hoc-Test** ist der **Scheffé-Test** (**BÖS, HÄNSEL, SCHOTT 2000**).

Das **arithmetische Mittel** (\bar{x}) wird berechnet, indem man alle Einzelwerte addiert und durch die Anzahl der Probanden dividiert.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Die **Standardabweichung** (s), welche die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert angibt, kann durch folgende Formel errechnet werden:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Der **Standardfehler** des Mittelwertes und die Sigma-Differenz (S_{DIFF}) wurden für die Mittelwerte der ($s_{\bar{x}}$) Maximalwerte aller Untersuchungsparameter berechnet.

$$s_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

$$S_{\text{DIFF}} = \pm \sqrt{s_{\bar{x}1}^2 + s_{\bar{x}2}^2}$$

Die Irrtumswahrscheinlichkeit (P) ermittelt:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{s_{\text{DIFF}}}$$

Dabei entspricht:

P > 0,05 = **nicht signifikant (ns)**

P ≤ 0,05 = **signifikant (*)**

P ≤ 0,01 = **sehr signifikant (**)**

P ≤ 0,001 = **hoch signifikant (***)**

Die **Signifikanzprüfung** erfolgt über folgende **F-Werte** bzw. kritische F-Werte:

$$F = \frac{MQ_Z}{MQ_I} \quad F_{\alpha; df_1; df_2}$$

Wenn $F < F_{\alpha; k-1, N-k}$ dann Beibehaltung von **H₀**

Wenn $F \geq F_{\alpha; k-1, N-k}$ dann Zurückweisung von **H₀** und Annahme **H₁**

Legende der statistischen Auswertung der Ergebnisse:

\bar{x} = Mittelwert

x_i = Einzelwerte

n = Anzahl der Probanden und Messwerte

s = Standardabweichung

s^2 = Varianz

$s_{\bar{x}}$ = Mittlerer Fehler des Mittelwertes

s_{DIFF} = Sigma-Differenz

t = t-Verteilung nach STUDENT

MQ_I = Die mittleren Quadrate innerhalb der Stichproben

MQ_Z = Die mittleren Quadrate zwischen den Mittelwerten

q = kritischer Wert des “studentisierten Range“

α = Signifikanzniveau

- df₁** = Anzahl der Stichproben
df₂ = Anzahl der Freiheitsgrade für MQ₁
H₀ = Nullhypothese
H₁ = Alternativhypothese
F = F-Test

3.4 Kritik der Methodik

Die **spiroergometrischen Untersuchungen** erstreckten sich über den sehr langen Zeitraum (**10/1973 bis 12/2002**) von **29 Jahren**. Innerhalb dieses langen Zeitraums hätten Fehler durch den Austausch der **Untersuchungsapparaturen** auftreten können. Dies war nicht der Fall, da der **komplette Meßplatz** zur kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik mit den **Hochleistungsergometern** der Fa. E. Jaeger/Würzburg regelmäßig gewartet und funktionsfähig gehalten wurden. Des weiteren konnte die **Messgenauigkeit** durch regelmäßige **Eichung** der pneumotachographisch registrierenden Atemapparatur und der Gasanalysegeräte gesteigert werden. Gleiches gilt für einen optimalen Sitz der **Atemmaske** bzw. **Y-Ventile**, der **EKG-Elektroden**, der optimalen **Sattel-** und **Lenkstangenhöhe** u. a.

Die **Spiroergometrie** ist eine sichere experimentelle Methode, die **körperliche** und **kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit** eines Menschen zu messen. Die durchgeführten Testverfahren entsprechen den Forderungen nach Objektivität, Validität und Reproduzierbarkeit (**MELLEROWICZ** 1979, **ZHAO** 1995, **NOWACKI** N.S.1998, **MOHAMMED** 1999, **SAWELLION** 2001).

Ab **1/2000** konnte ich selbst in Zusammenarbeit mit dem **Sportmedizinischen Untersuchungsteam** von **Prof. Dr. Paul E. NOWACKI** an den sportmedizinischen Untersuchungen aktiv teilnehmen. Dabei war ich an **allen Plätzen** der Datenerfassung, von der Erhebung der **anthropometrischen** Parameter, der **Lungenfunktion**, Messung des **Ruhe-**, **Leistungs-** und **Erholungsblutdruckes**, des **Ruhe-** und **Ergo-EKGs** mit Ausmessung desselben sowie der **spiroergometrischen** Kurvenanalyse und Berechnung beteiligt.

Die Einhaltung der **Leistungsumsatzbedingungen** konnte nicht bei allen Untersuchungen erfüllt werden. In Anbetracht der großen Probandenzahl, des Zeitaufwandes der jeweiligen Belastungsverfahren auf dem Fahrradergometer, des Terminplanes der Versuchspersonen,

war es nicht möglich, alle Tests zu der jeweils gleichen Tages- und in derselben Jahreszeit durchzuführen.

Wir achteten jedoch darauf, dass die Belastungstests während der **Trainingsperiode** der Sportler stattfanden, so dass die Streuung der **Untersuchungstermine** keine Minderung der Aussagekraft annehmen lässt.

Die **Motivation** der Probanden zur vollen Ausbelastung war vorhanden oder wurde durch das Untersuchungsteam aktiviert, was durch das Erreichen der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenzen zu objektivieren war.

Die Ermittlung der **körperlichen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Maximalwerte** aus den **Fahrradspiroergometrien** wäre bei differenten Methoden mit unterschiedlichen Belastungsstufen nicht vertretbar gewesen. Dies konnte durch die vorliegende Untersuchungen beim Vergleich der Methoden von **HOLLMANN** vs. **1W/kg KG** von **NOWACKI** (**ZHAO** 1995) bei meiner Gruppe – **Athleten 2002** – nochmals bestätigt werden.

Der ständige Einsatz des körperrgewichtsbezogenen fahrradspiroergometrischen Belastungsverfahrens über 29 Jahre, der **1W/kg KG-Methode**, welche als **einzige** eine den **Trainingszustand** sofort **klassifizierende Beurteilung** erlaubt, erweist sich somit für meine vergleichenden Analysen der **Sportarten** und **Ergometriemethoden** als Vorteil.

Während es für die **quantitativen** Vergleiche der **Leistungs- und Erholungspulssummen** (**E.A. MÜLLER** 1961) und für die **Sauerstoffschuld – Oxygen debt** (**HILL, LONG, LUPTON** 1924, **HELBING, NOWACKI** 1966, **FANDREY** 1977) nationale sowie internationale Voruntersuchungen gibt, existieren diese nicht über die quantitativen Reaktionen der **Atmung**, der **Kohlendioxydabatemung** während erschöpfender spiroergometrischer Leistungs- und der anschließenden Erholungsphase. Gleiches gilt für die **O₂-Aufnahme** während der Leistungsperiode.

Damit stehen für meine Vergleichsuntersuchungen nur die ersten **quantitativen Betrachtungen** dieser Parameter beim Bodensee-Vierer m. Stm. (**EM** 1969, 1971, **WM** 1970, Olympiasieger 1972) zur Verfügung (**NOWACKI** 1977), was ein gewisser Nachteil ist.

Die von **HOLLMANN, HETTINGER** 1990 beschriebenen Koordinationsschwierigkeiten auf dem **Laufband** konnten bei unseren Probanden bei der Fahrradspiroergometrie natürlich nicht auftreten, da die Einstellung optimaler **Sitzpositionen** und **Umdrehungszahlen** für die Athleten aus vielen Sportarten, vergleichbare Bedingungen garantiert.

Somit konnten bei allen leistungsmedizinischen Untersuchungen die revidierten Standardisierungsvorschläge für Ergometrien (**SMODLAKA, MELLEROWICZ, HORAK** 1983) eingehalten werden und überwiegend auch die **Leistungsumsatzbedingungen**, wie sie bei der Tagung des Forschungskomitees des **ICSPE** zur **internationalen Standardisierung der Ergometrie** während des **16. Weltkongresses für Sportmedizin** am **14. 6. 1966** in Hannover, dort auch durch die Mitarbeit von **NOWACKI**, vereinbart wurden (**MELLEROWICZ** 1979).

4. ERGEBNISSE

4.1 Funktionsdiagnostik der körperlichen Leistungsfähigkeit

4.1.1 Gesamtarbeit in Wattminuten

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtarbeit in Wattminuten** der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 76 dargestellt.

Die **Untrainierten** erreichten mit **937 ± 152 Wattminuten** den niedrigsten Wert der Gesamtarbeit. Schon die **befriedigend trainierte Gruppe** liegt mit **238 Wattminuten hoch signifikant ($P \leq 0,001$)** darüber. Noch deutlicher wird der Abstand der **untrainierten Gruppe** mit **526 Wattminuten** zur **gut trainierten Gruppe** und mit **932 Wattminuten** zur **sehr gut trainierten Gruppe**, wobei auch diese Unterschiede **hoch signifikant ($P \leq 0,001$)** sind.

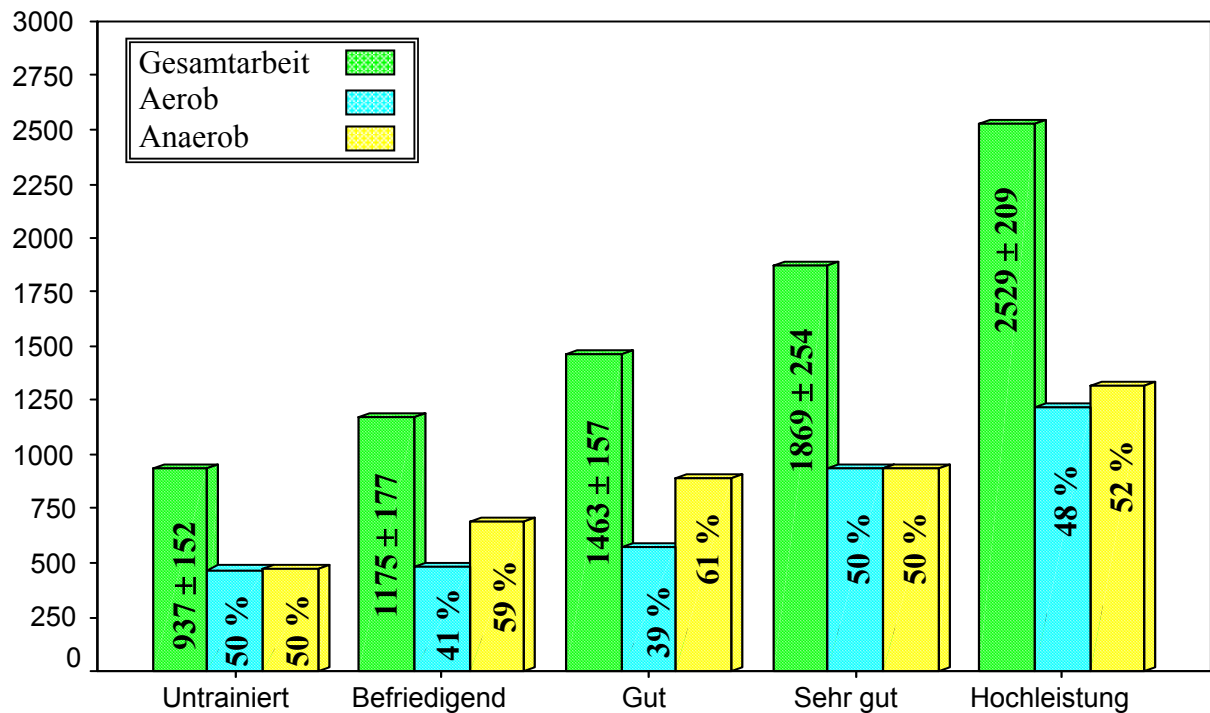
Die Athleten aus dem **Hochleistungsbereich** verfügen mit **2529 ± 209 Wattminuten** über eine körperliche Leistungsfähigkeit, welche **2,7 mal** höher liegt als bei den untrainierten Männern (**$P \leq 0,001$**).

Auch die jeweiligen Unterschiede bei der **Gesamtarbeit in Wattminuten** zwischen den verschieden hoch trainierten Gruppen sind signifikant. So beträgt der Anstieg der körperlichen Leistungsfähigkeit als Gesamtarbeit in Wattminuten zwischen den Gruppen **Befriedigend vs. Gut trainiert 288 Wattminuten ($P \leq 0,001$)**, **Gut vs. Sehr gut trainiert 406 Wattminuten ($P \leq 0,001$)** und **Sehr gut trainiert vs. Hochleistung 660 Wattminuten ($P \leq 0,001$)**.

Bei der **untrainierten Gruppe** fallen von den **937 Wattminuten 50 %** auf die **aerobe** und **50% auf die anaerobe Kapazität**. Dieses **prozentuale Verhältnis des Aeroben vs. Anaeroben Anteils** an der Gesamtarbeit wird mit **50 : 50 %** auch bei den **sehr gut trainierten Sportlern** gefunden, im Prinzip auch bei der **Hochleistungsgruppe** mit **48 vs. 52%**.

Gesamtarbeit – Trainingszustand

Wattminuten



Gruppe	n	Gesamtarbeit Wattminuten	Aerober Anteil	Anaerober Anteil
		M ± s	%	%
Untrainiert	25	937 ± 152	50	50
Befriedigend trainiert	54	1175 ± 177	41	59
Gut trainiert	85	1463 ± 157	39	61
Sehr gut trainiert	72	1869 ± 254	50	50
Hochleistung	9	2529 ± 209	48	52

Abb. 76: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtarbeit in Wattminuten sowie der jeweils aerob vs. anaerob prozentual geleistete Anteil bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Bei der **befriedigend trainierten Gruppe** (41 vs. 59 %) und **gut trainierten Gruppe** (39 vs. 61 %) wird ein deutlich höherer Anteil der Gesamtarbeit in Wattminuten durch die Mobilisierung der anaeroben Kapazität erreicht.

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Gesamtarbeit in Wattminuten sind der Tab. 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Gesamtarbeit in Wattminuten - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			238	***	526	***	932	***	1592	***
Befriedigend					288	***	694	***	1354	***
Gut							406	***	1066	***
Sehr gut									660	***
Hochleistung										

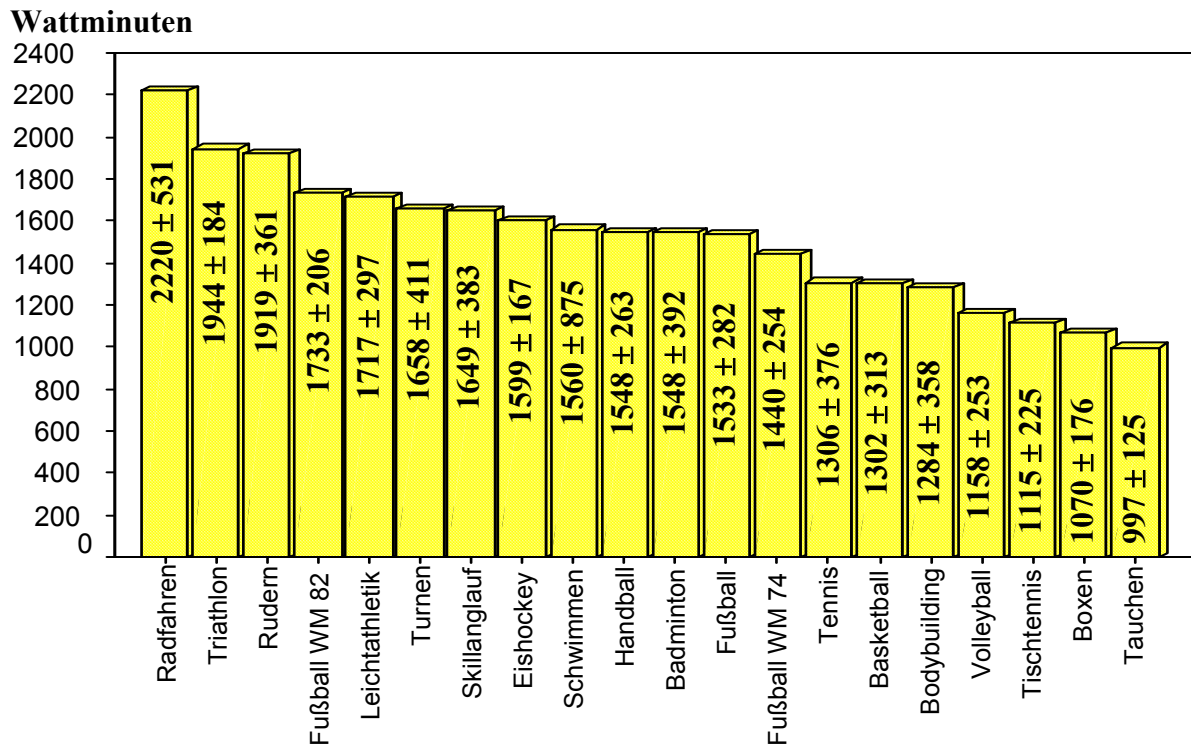
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtarbeit in Wattminuten** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 77 dargestellt.

Die **Gesamtarbeit in Wattminuten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Radfahrern** mit **2220 ± 531 Wattminuten** am **größten** und bei den **Tauchern** mit **997 ± 125 Wattminuten** am **niedrigsten**.

Die Gesamtarbeit der **Straßenradfahrer** liegt **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) über der körperlichen Leistungsfähigkeit fast aller anderen Sportarten.

Lediglich der Unterschied zu den **Triathleten** (**1944 ± 184**) ist mit **276 Wattminuten** **nicht signifikant** ($P > 0,05$), dagegen zu den **Ruderern** (**1919 ± 361**) mit der höheren Gesamtarbeit von **301 Wattminuten** schon **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Gesamtarbeit – Sportarten

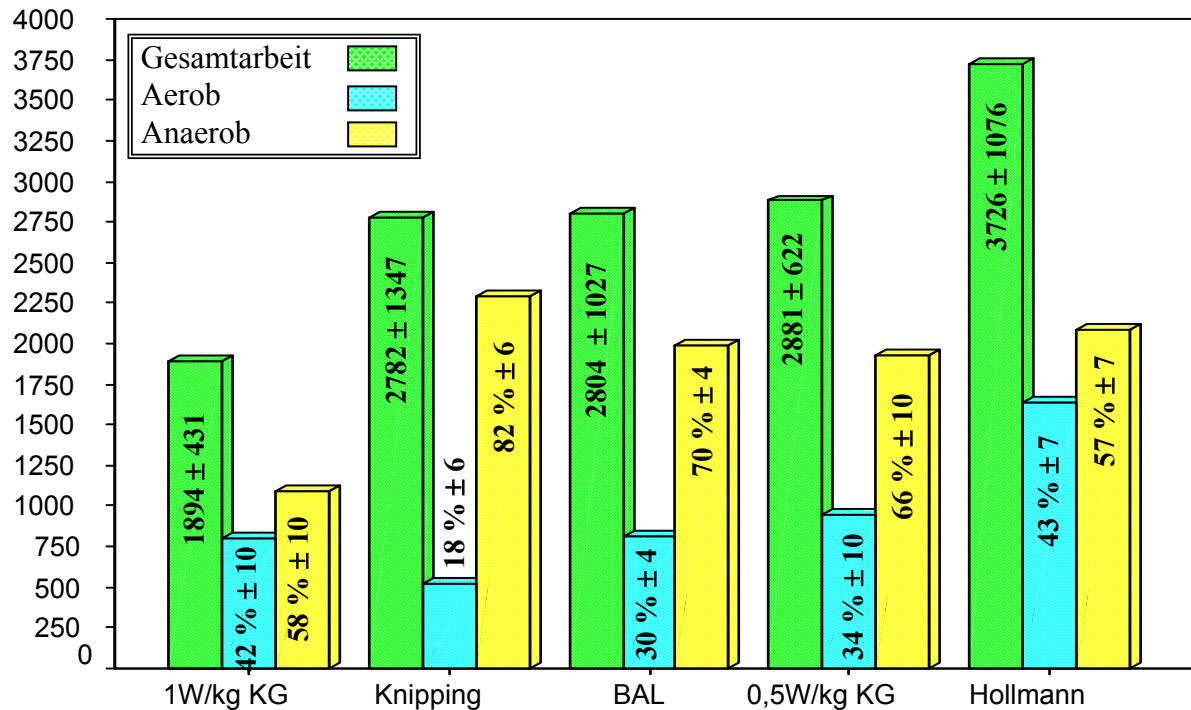


Sportart	Gesamtarbeit Wattminuten		Sportart	Gesamtarbeit Wattminuten	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	2220 ± 531	Badminton	11	1548 ± 392
Triathlon	6	1944 ± 184	Fußball	21	1533 ± 282
Rudern	10	1919 ± 361	Fußball WM 74	23	1440 ± 254
Fußball WM 82	15	1733 ± 206	Tennis	10	1306 ± 376
Leichtathletik	17	1717 ± 297	Basketball	16	1302 ± 313
Turnen	8	1658 ± 411	Bodybuilding	7	1284 ± 358
Skilanglauf	9	1649 ± 383	Volleyball	10	1158 ± 253
Eishockey	10	1599 ± 167	Tischtennis	12	1115 ± 225
Schwimmen	5	1560 ± 875	Boxen	5	1070 ± 176
Handball	11	1548 ± 263	Tauchen	12	997 ± 125

Abb. 77: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtarbeit in Wattminuten der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamtarbeit – Belastungsmethoden

Wattminuten



Methode	n	Gesamtarbeit Wattminuten	Aerob Anteil	Anaerob Anteil
		M ± s	%	%
1 W/kg KG	6	1894 ± 431	42 ± 10	58 ± 10
Knipping	6	2782 ± 1068	18 ± 6	82 ± 6
BAL	6	2804 ± 1026	30 ± 4	70 ± 4
0,5 W/kg KG	6	2881 ± 622	34 ± 10	66 ± 10
Hollmann	6	3727 ± 1076	43 ± 7	57 ± 7

Abb. 78: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtarbeit in Wattminuten sowie der jeweils aerob vs. anaerob prozentual geleistete Anteil von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Beim **Hollmann-Verfahren** wird mit $43 \pm 7 \%$ der **größte Wert** des **Aeroben Anteils** und mit $57 \pm 7 \%$ der **niedrigste Wert** des **Anaeroben Anteils** erreicht. Beim **Knipping-Verfahren** fanden wir mit $18 \pm 6 \%$ den **niedrigsten** Aeroben Anteil und mit $82 \pm 6 \%$ den **größten** Anaeroben Anteil.

Das **Knipping-Verfahren** ist im Vergleich zu dem **Hollmann-Verfahren** und zu der **1 W/kg KG-Methode** mit $42 \pm 10 \%$ aerobem Anteil und $58 \pm 10 \%$ anaerobem Anteil **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) mit seinem aerob/anaeroben Verhältnis. Zu der **0,5 W/kg KG-Methode** mit $34 \pm 10 \%$ aerobem Anteil und $66 \pm 10 \%$ anaerobem Anteil ist das **Knipping-Verfahren** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$), dagegen zu dem **BAL-Verfahren** mit $30 \pm 4 \%$ aerobem Anteil und $70 \pm 4 \%$ anaerobem Anteil nur **signifikant** ($P \leq 0,05$) unterschiedlich. Das **Hollmann-Verfahren** im Vergleich zu dem **BAL-Verfahren** ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zu der **0,5 W/kg KG-Methode** **signifikant** ($P \leq 0,05$). Das **BAL-Verfahren** im Vergleich zu der **1 W/kg KG-Methode** ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

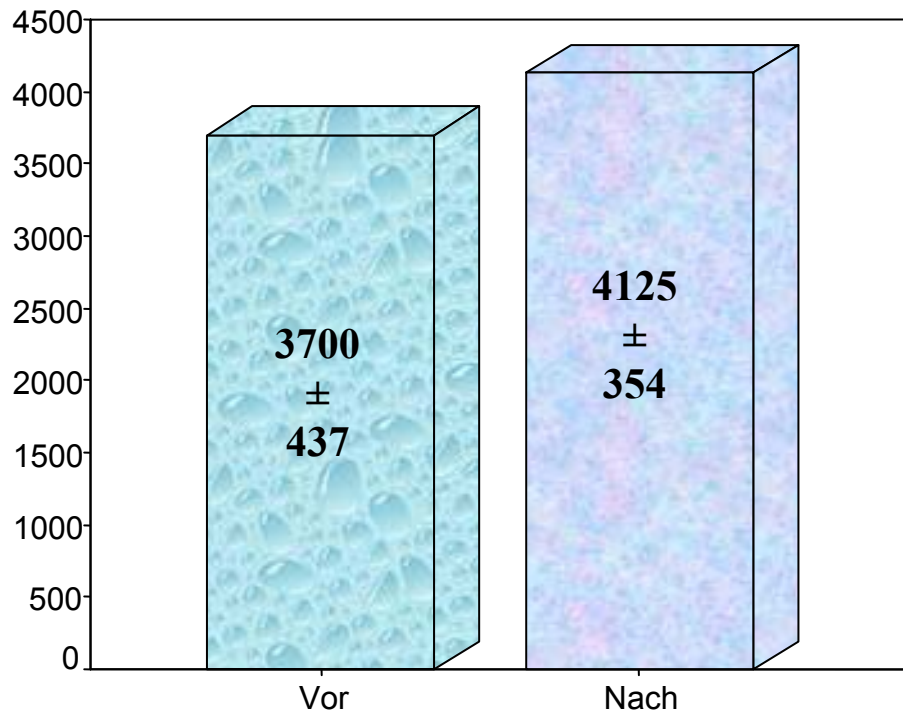
Der Unterschied im Verhältnis der aerob und anaerob von den Athleten geleisteten Anteile an der Gesamtarbeit in Wattminuten zwischen allen anderen Belastungsmethoden ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtarbeit in Wattminuten** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 79 dargestellt.

Die Gesamtarbeit **vor dem Höhenttraining** beträgt 3700 ± 437 Wattminuten und **nach dem Höhenttraining** 4125 ± 354 Wattminuten. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit 425 Wattminuten ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Gesamtarbeit – Höhenttraining

Wattminuten



Gesamtarbeit Wattminuten	Vor dem Höhentraining	Nach dem Höhentraining
\bar{x}	3700	4125
$\pm 1s$	437	354
n	8	8

Abb. 79: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtarbeit in Wattminuten der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtarbeit in Wattminuten** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 80 dargestellt.

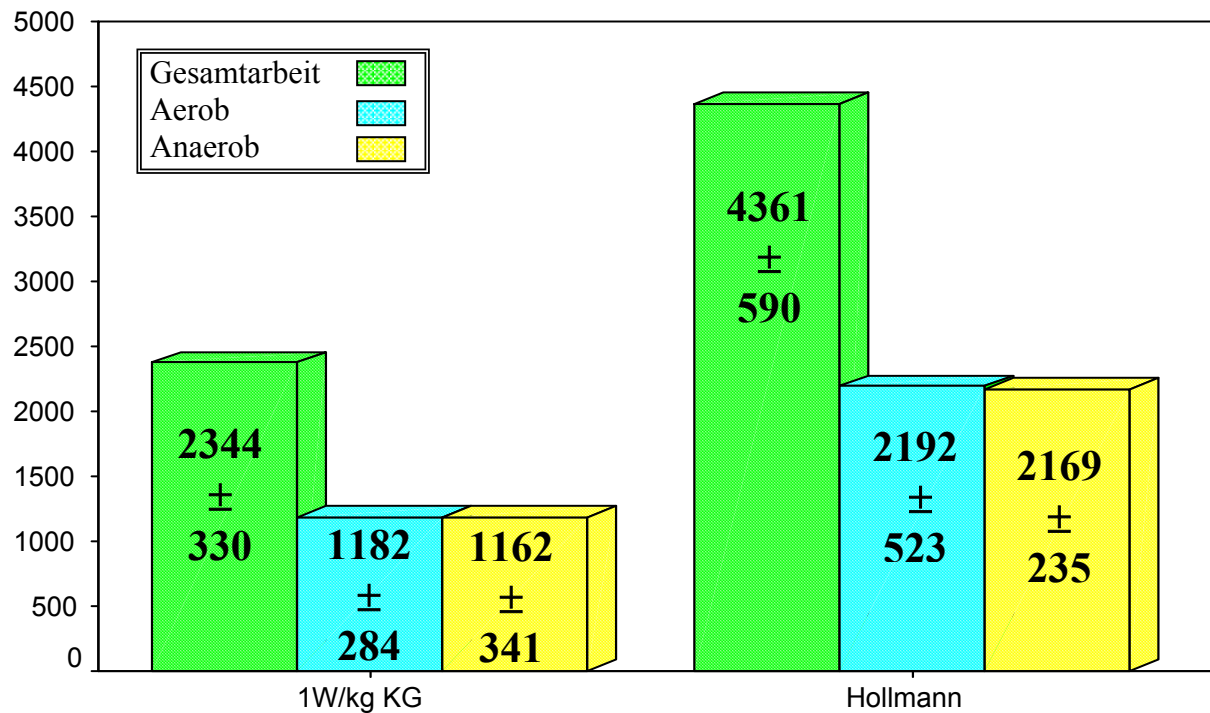
Die **Gesamtarbeit** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt **2344 ± 330 Wattminuten** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **4361 ± 590 Wattminuten**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **2017 Wattminuten** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Der **Aerobe Anteil der Gesamtarbeit** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt **1182 ± 284 Wattminuten** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **2192 ± 523 Wattminuten**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **1010 Wattminuten** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Der **Anaerobe Anteil der Gesamtarbeit** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt **1162 ± 341 Wattminuten** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **2169 ± 235 Wattminuten**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **1007 Wattminuten** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Gesamtarbeit – Gruppe Athleten 2002

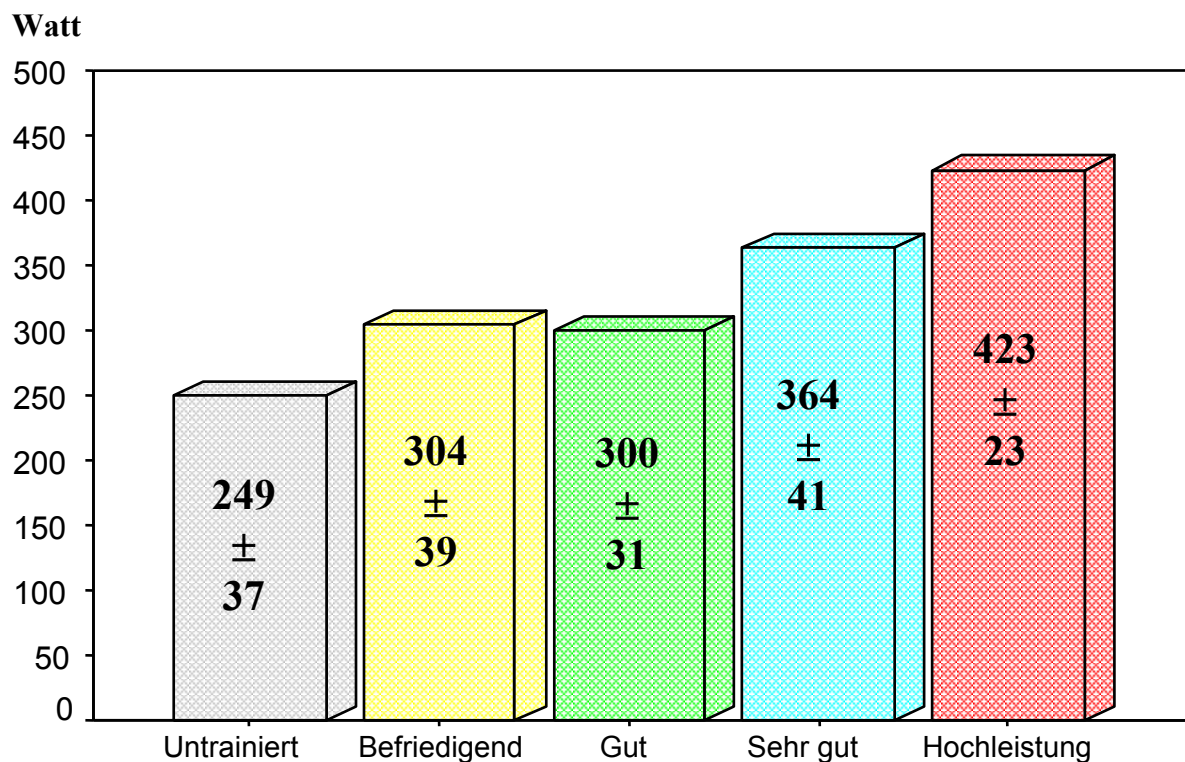
Wattminuten



Methode	n	Gesamtarbeit Wattminuten	Aerober Anteil Wattminuten	Anaerober Anteil Wattminuten
1 W/kg KG	9	2344 ± 330	1182 ± 284	1162 ± 341
Hollmann	9	4361 ± 590	2192 ± 523	2169 ± 235

Abb. 80: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtarbeit in Wattminuten sowie der jeweils aerob vs. anaerob geleistete Anteil von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann - Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale absolute Wattstufe – Trainingszustand



Max. absolute Wattstufe Watt	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	249	304	300	364	423
$\pm 1s$	37	39	31	41	23
n	25	54	85	72	9

Abb. 81: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale absolute Wattstufe** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 82 dargestellt.

Die **maximale absolute Wattstufe** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Ruderern** mit **380 ± 44 Watt** am größten und den **Tischtennispielern** mit **265 ± 45 Watt** am **niedrigsten**. Die **maximale absolute Wattstufe** der **Ruderer** liegt im Vergleich zu den **Badmintonspielern** mit **315 ± 43 Watt**, zu den **Basketballspielern** mit **298 ± 37 Watt**, zu den **Boxern** mit **268 ± 23 Watt**, zu den **Fußballspielern** mit **316 ± 38 Watt**, zur Gruppe **Fußball WM 74** mit **306 ± 41 Watt**, zu den **Tauchern** mit **266 ± 41 Watt**, zu den **Tennispielern** mit **297 ± 51 Watt**, zu den **Tischtennispielern** mit **265 ± 45 Watt** und zu den **Volleyballspielern** mit **293 ± 42 Watt** **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) höher, zu den **Bodybuildern** mit **317 ± 49 Watt** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$), dagegen zu den **Eishockeyspielern** mit **329 ± 37 Watt**, zu den **Handballspielern** mit **339 ± 54 Watt**, zu den **Leichtathleten** mit **343 ± 47 Watt** und zu den **Skilangläufern** mit **333 ± 40 Watt** **signifikant** ($P \leq 0,05$) höher.

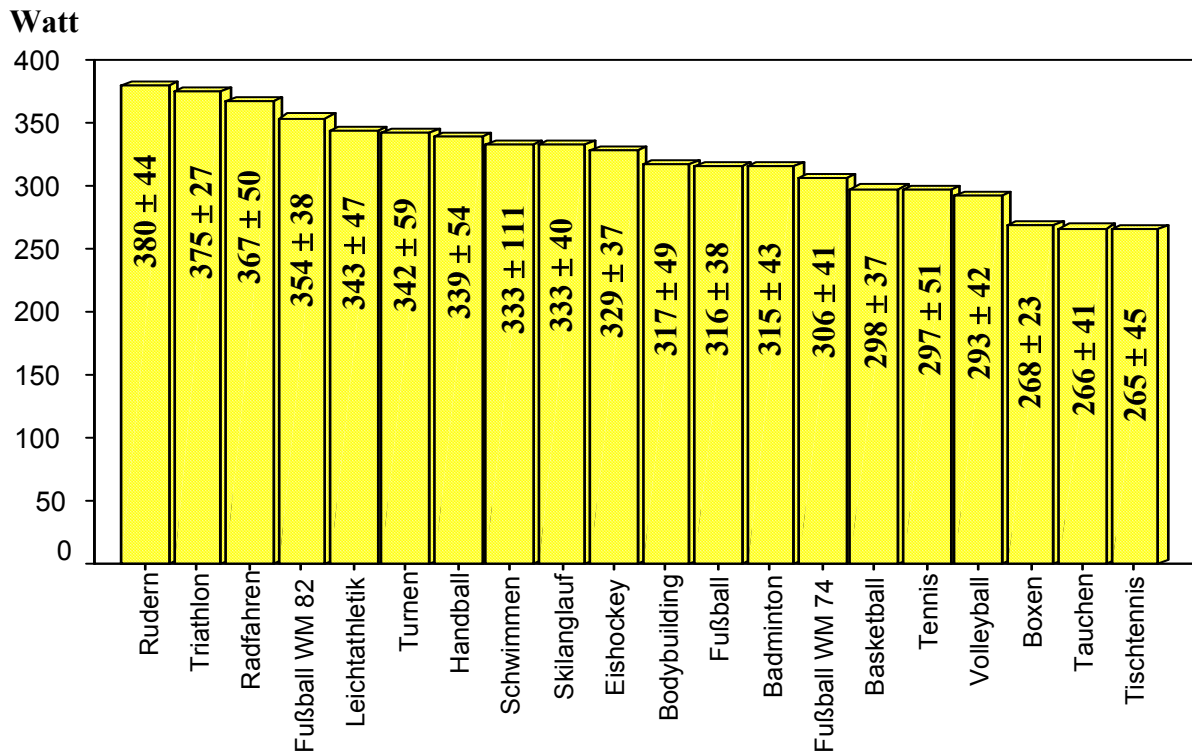
Die weiteren Unterschiede zwischen den 20 Gruppen aus 18 Sportarten sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale absolute Wattstufe** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5** unterschiedlichen **fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 83 dargestellt.

Mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichen die sehr gut trainierten Probanden die **größte maximale absolute Wattstufe** mit **375 ± 63 Watt**. Die **1 W/kg KG-Methode** ist zur Erreichung der maximalen absoluten Wattstufe im Vergleich zu dem **Hollmann-Verfahren** mit **310 ± 44 Watt** und zu dem **Knipping-Verfahren** mit **298 ± 44 Watt** **signifikant** ($P \leq 0,05$) effektiver. Die Unterschiede zwischen allen anderen Methoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden bei der maximalen absoluten Wattstufe sind der Tab. 9 zu entnehmen.

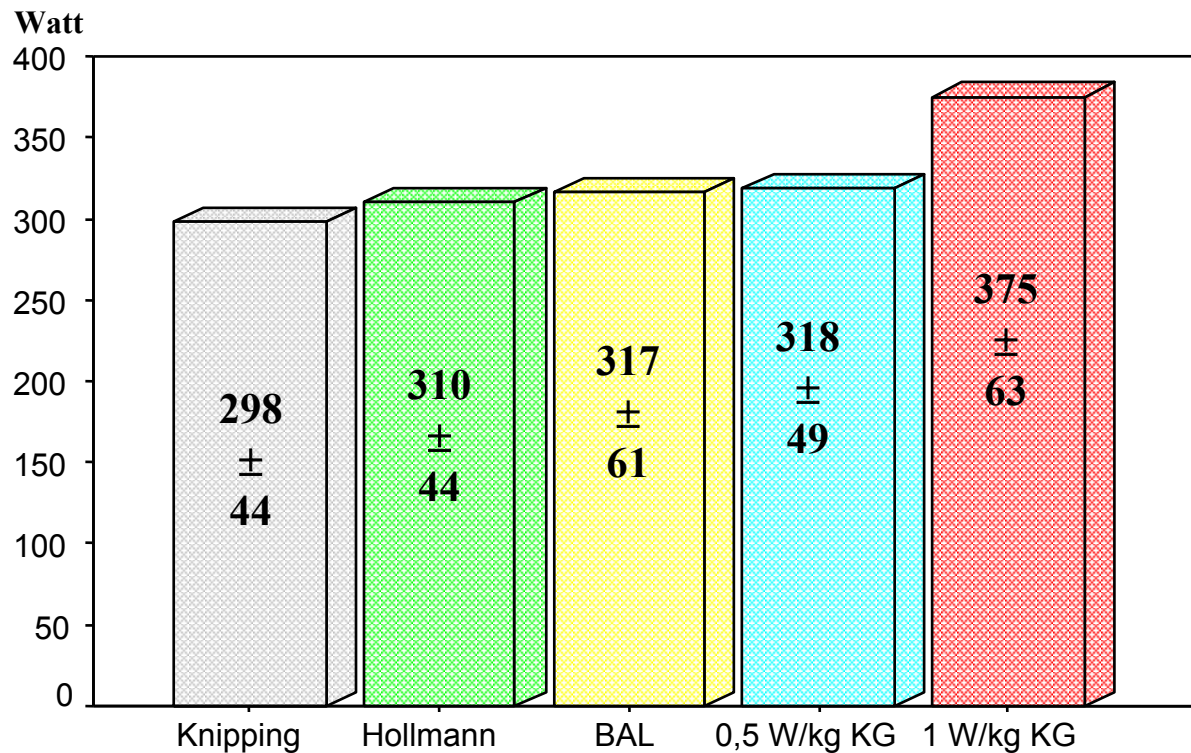
Maximale absolute Wattstufe – Sportarten



Sportart	Max. absolute Wattstufe Watt		Sportart	Max. absolute Wattstufe Watt	
	n	M ± s		n	M ± s
Rudern	10	380 ± 44	Bodybuilding	7	317 ± 49
Triathlon	6	375 ± 27	Fußball	21	316 ± 38
Radfahren	9	367 ± 50	Badminton	11	315 ± 43
Fußball WM 82	15	354 ± 38	Fußball WM 74	23	306 ± 41
Leichtathletik	17	343 ± 47	Basketball	16	298 ± 37
Turnen	8	342 ± 59	Tennis	10	297 ± 51
Handball	11	339 ± 54	Volleyball	10	293 ± 42
Schwimmen	5	333 ± 111	Boxen	5	268 ± 23
Skilanglauf	9	333 ± 40	Tauchen	12	266 ± 41
Eishockey	10	329 ± 37	Tischtennis	12	265 ± 45

Abb. 82: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale absolute Wattstufe – Belastungsmethoden



Max. absolute Wattstufe Watt	Knipping	Hollmann	BAL	0,5 W/kg KG	1 W/kg KG
\bar{x}	298	310	317	318	375
$\pm 1s$	44	44	61	49	63
n	6	6	6	6	6

Abb. 83: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 9: Maximale absolute Wattstufe - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	Knipping		Hollmann		BAL		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			12	ns	19	ns	20	ns	77	*
Hollmann					7	ns	8	ns	65	*
BAL							1	ns	58	ns
0,5 W/kg KG									57	ns
1 W/kg KG										

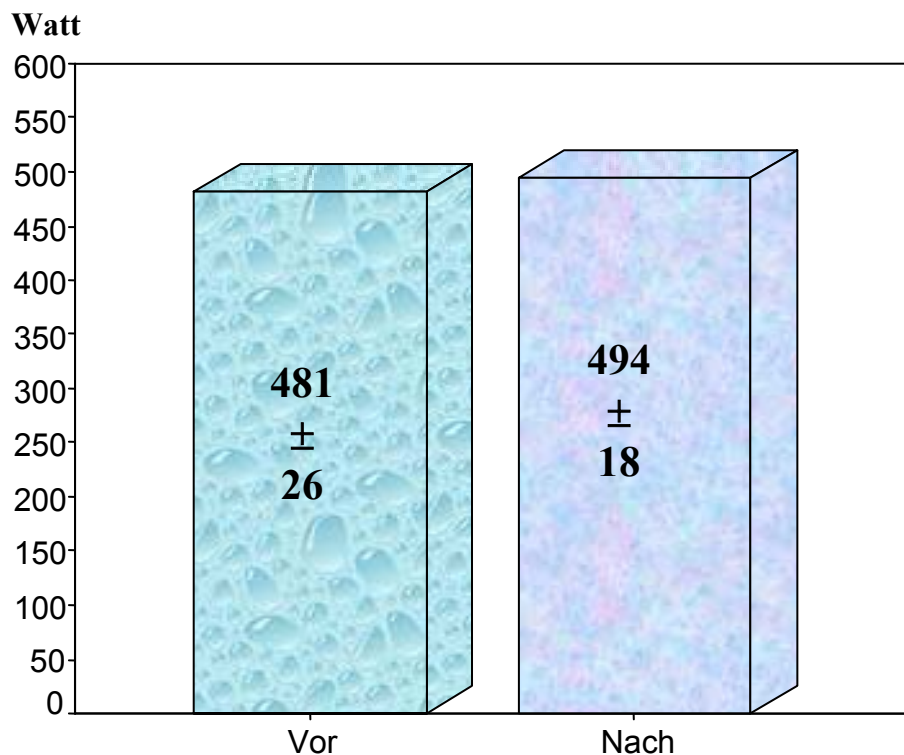
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale absolute Wattstufe** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 84 dargestellt.

Die **maximale absolute Wattstufe vor dem Höhenttraining** beträgt 481 ± 26 Watt und **nach dem Höhenttraining** 494 ± 18 Watt. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit 13 Watt ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale absolute Wattstufe** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 85 dargestellt.

Die **maximale absolute Wattstufe** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt 399 ± 55 Watt und bei dem **Hollmann-Verfahren** 323 ± 20 Watt. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit 76 Watt ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

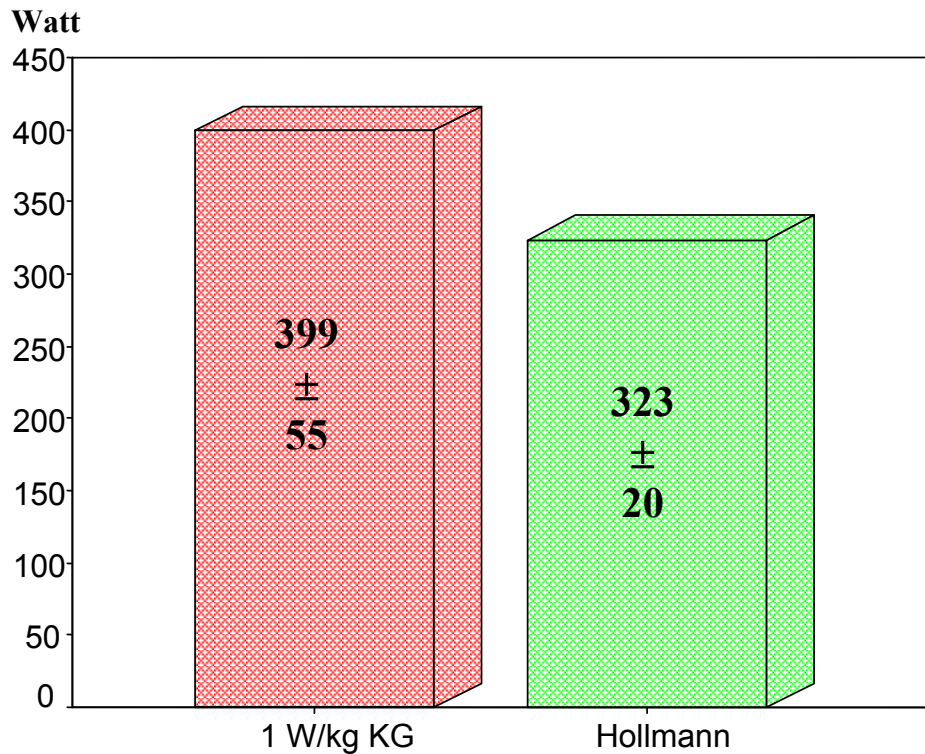
Maximale absolute Wattstufe – Höhenttraining



Max. absolute Wattstufe Watt	Vor dem Höhenttraining	Nach dem Höhenttraining
\bar{x}	481	494
$\pm 1s$	26	18
n	8	8

Abb. 84: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale absolute Wattstufe – Gruppe Athleten 2002



Max. absolute Wattstufe Watt	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	399	323
$\pm 1s$	55	20
n	9	9

Abb. 85: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen absoluten Wattstufe (Watt) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

4.1.3 Maximale relative Wattstufe

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale relative Wattstufe** (W/kg KG) der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 86 dargestellt.

Der Mittelwert für die **maximale relative Wattstufe** steigt von der **untrainierten Gruppe** im Durchschnitt mit **2,98 ± 0,05 Watt/kg KG** bis zur **Hochleistungsgruppe** mit **5,86 ± 0,07 Watt/kg KG hoch signifikant (P ≤ 0,001)** an. Definitionsgemäß ist der Unterschied zwischen der **befriedigend trainierten Gruppe** mit **3,98 ± 0,07 Watt/kg KG** und der **gut trainierten Gruppe** mit **3,98 ± 0,08 Watt/kg KG nicht signifikant (P > 0,05)**, da beide mit der ergometrischen 1 W/kg KG-Methode 4 Watt pro Kilogramm Körpergewicht erreichen. Nur die Belastungszeiten bei dieser trainierten Wattstufe differieren zwischen 1 Minute (befriedigend trainiert) und 2 Minuten (gut trainiert).

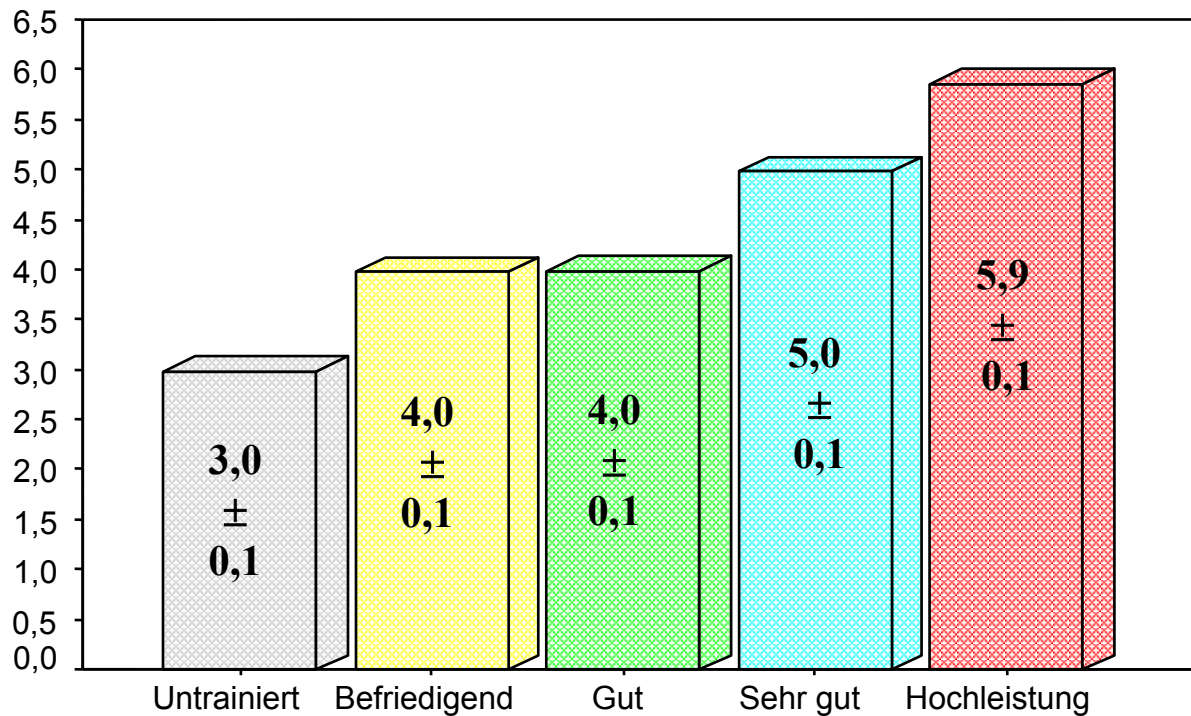
Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der maximalen relativen Wattstufe sind der Tab. 10 zu entnehmen.

Tabelle 10: Maximale relative Wattstufe - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Maximale relative Wattstufe – Trainingszustand

Watt/kg KG



Max. relative Wattstufe W/kg KG	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	2,98	3,98	3,98	4,98	5,86
$\pm 1s$	0,05	0,07	0,08	0,10	0,07
n	25	54	85	72	9

Abb. 86: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen relativen Wattstufe (W/kg KG) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale relative Wattstufe** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 87 dargestellt.

Die **maximale relative Wattstufe** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Straßenradfahrern** mit $5,29 \pm 0,64$ Watt/kg KG am **höchsten** und bei den **Tauchern** mit $3,49 \pm 0,53$ Watt/kg KG am **niedrigsten**. Die **maximale relative Wattstufe** der **Straßenradfahrer** liegt im Vergleich zu den **Leichtathleten** mit $4,58 \pm 0,50$ Watt/kg KG **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) höher, zu den **Turnern** mit $4,75 \pm 0,67$ Watt/kg KG **signifikant** ($P \leq 0,05$) höher, dagegen zu den **Ruderern** mit $4,99 \pm 0,66$ Watt/kg KG, zu den **Skilangläufern** mit $4,82 \pm 0,60$ Watt/kg KG und zu den **Triathleten** mit $4,98 \pm 0,10$ Watt/kg KG **nicht signifikant** größer ($P > 0,05$). Die weiteren Unterschiede zwischen den 20 Gruppen aus 18 Sportarten sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

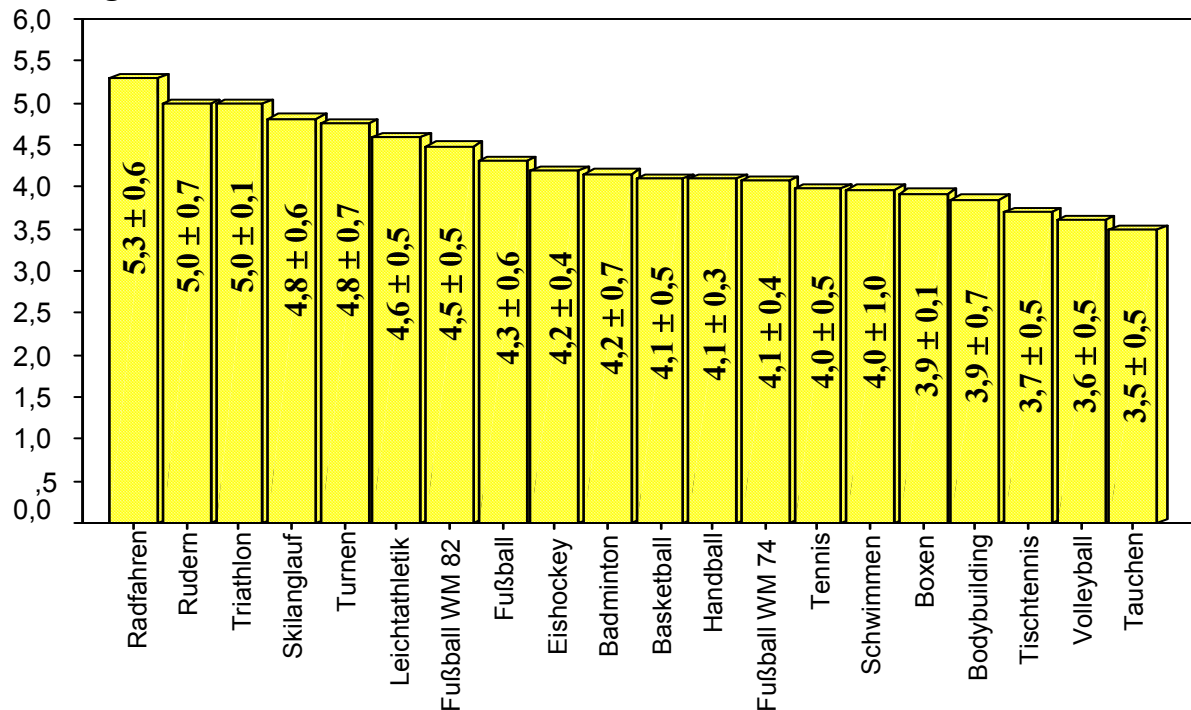
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale relative Wattstufe** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 88 dargestellt.

Mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichen die sehr gut trainierten Probanden die **größte maximale relative Wattstufe** mit $4,93 \pm 0,55$ Watt/kg KG. Die **1 W/kg KG-Methode** im Vergleich zu dem **Hollmann-Verfahren** mit $4,09 \pm 0,43$ Watt/kg KG und zu dem **Knipping-Verfahren** mit $3,98 \pm 0,48$ Watt/kg KG ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$). Zu der **0,5 W/kg KG-Methode** mit $4,21 \pm 0,45$ Watt/kg KG und zu dem **BAL-Verfahren** mit $4,18 \pm 0,65$ Watt/kg KG ist die Gießener Standardbelastungsmethode noch **signifikant** ($P \leq 0,05$) höher. Die Unterschiede zwischen allen anderen Methoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden bei der maximalen relativen Wattstufe sind der Tab. 11 zu entnehmen.

Maximale relative Wattstufe – Sportarten

Watt/kg KG

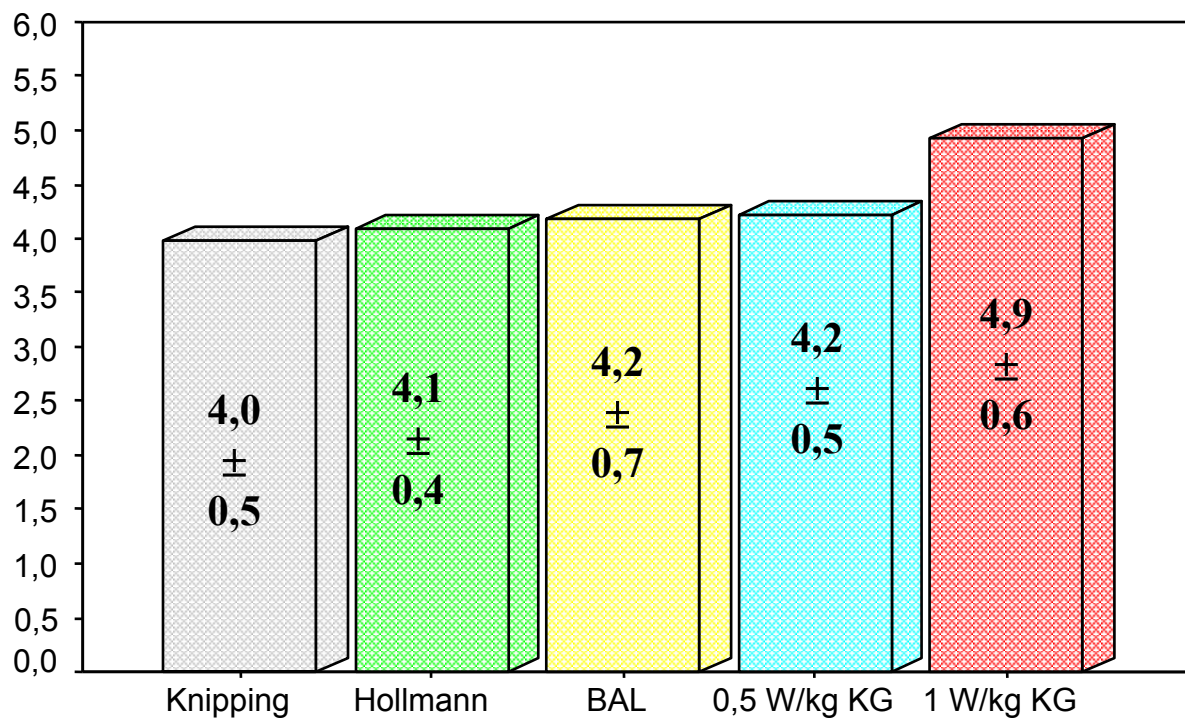


Sportart	Max. relative Wattstufe W/kg KG		Sportart	Max. relative Wattstufe W/kg KG	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	5,29 ± 0,64	Basketball	16	4,10 ± 0,48
Rudern	10	4,99 ± 0,66	Handball	11	4,10 ± 0,34
Triathlon	6	4,98 ± 0,10	Fußball WM 74	23	4,08 ± 0,43
Skilanglauf	9	4,82 ± 0,60	Tennis	10	3,98 ± 0,48
Turnen	8	4,75 ± 0,67	Schwimmen	5	3,97 ± 1,01
Leichtathletik	17	4,58 ± 0,50	Boxen	5	3,92 ± 0,10
Fußball WM 82	15	4,48 ± 0,52	Bodybuilding	7	3,85 ± 0,69
Fußball	21	4,31 ± 0,56	Tischtennis	12	3,70 ± 0,46
Eishockey	10	4,20 ± 0,44	Volleyball	10	3,61 ± 0,52
Badminton	11	4,15 ± 0,73	Tauchen	12	3,49 ± 0,53

Abb. 87: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen relativen Wattstufe (W/kg KG) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale relative Wattstufe – Belastungsmethoden

Watt/kg KG



Max. relative Wattstufe W/kg KG	Knipping	Hollmann	BAL	0,5 W/kg KG	1 W/kg KG
\bar{x}	3,98	4,09	4,18	4,21	4,93
$\pm 1s$	0,48	0,43	0,65	0,45	0,55
n	6	6	6	6	6

Abb. 88: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen relativen Wattstufe (W/kg KG) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 11: Maximale relative Wattstufe - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	Knipping		Hollmann		BAL		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			,11	ns	,20	ns	,23	ns	,95	**
Hollmann					,09	ns	,12	ns	,84	**
BAL							,03	ns	,75	*
0,5 W/kg KG									,72	*
1 W/kg KG										

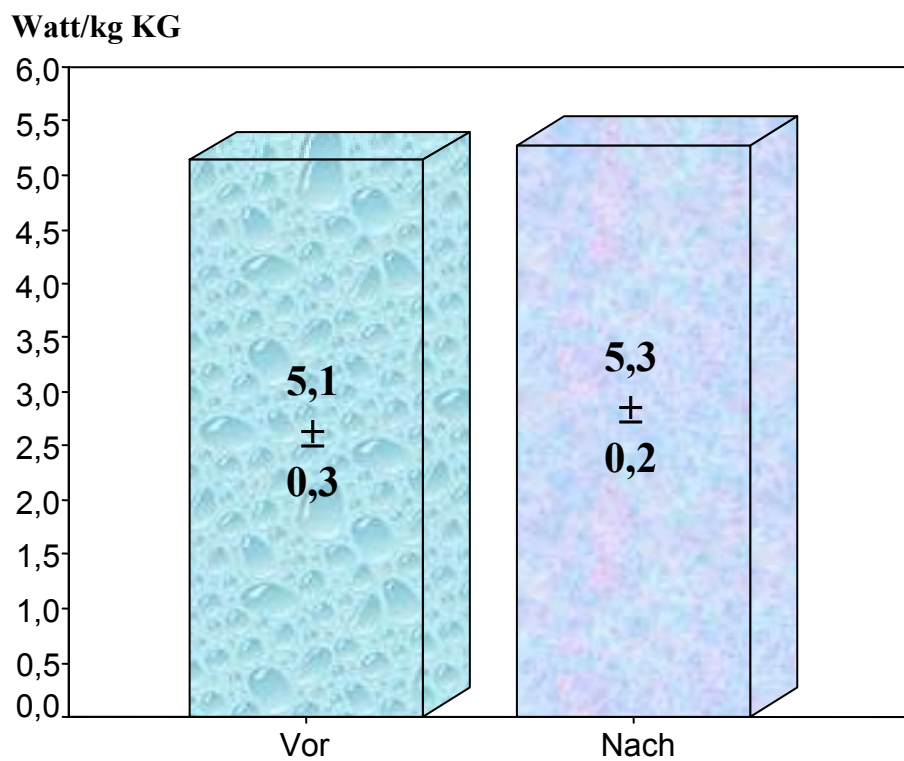
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale relative Wattstufe** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 89 dargestellt.

Die **maximale relative Wattstufe vor dem Höhenttraining** beträgt $5,14 \pm 0,30$ Watt/kg KG und **nach dem Höhenttraining** $5,28 \pm 0,23$ Watt/kg KG. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit $0,14$ Watt/kg KG ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **maximale relative Wattstufe** der **sehr gut trainierten** Probanden –**Athleten 2002**– bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 90 dargestellt.

Die **maximale relative Wattstufe** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt $5,33 \pm 0,50$ Watt/kg KG und bei dem **Hollmann-Verfahren** $4,32 \pm 0,68$ Watt/kg KG. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit $1,01$ Watt/kg KG ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

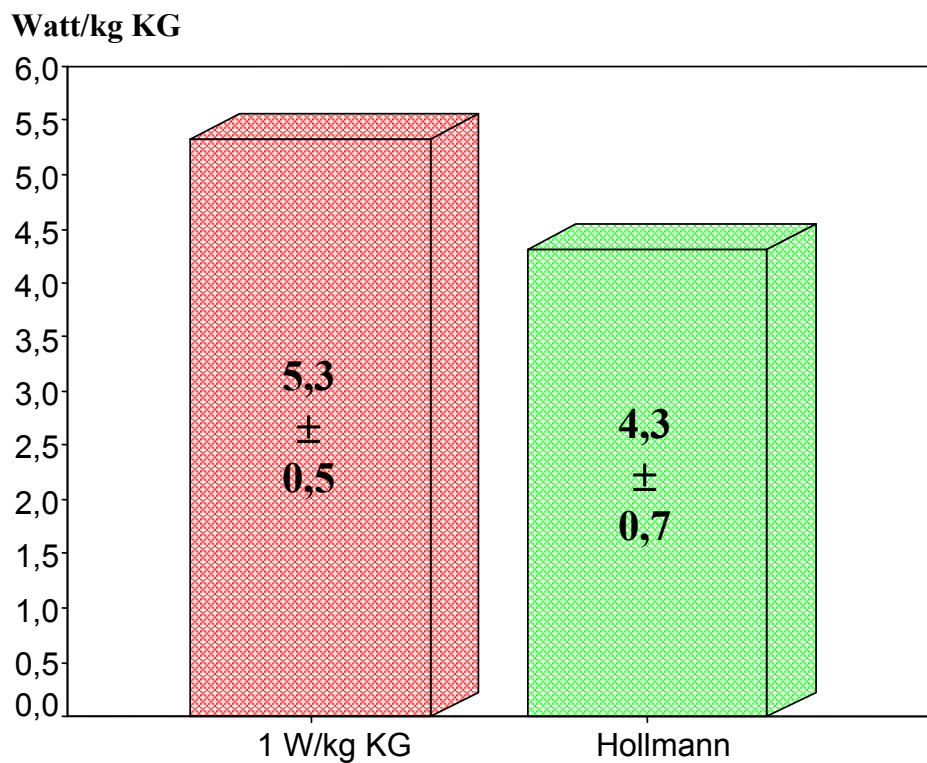
Maximale relative Wattstufe – Höhenttraining



Max. relative Wattstufe W/kg KG	Vor dem Höhentraining	Nach dem Höhentraining
\bar{x}	5,14	5,28
$\pm 1s$	0,30	0,23
n	8	8

Abb. 89: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen relativen Wattstufe (W/kg KG) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale relative Wattstufe – Gruppe Athleten 2002



Max. relative Wattstufe W/kg KG	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	5,33	4,32
$\pm 1s$	0,50	0,68
n	9	9

Abb. 90: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen relativen Wattstufe (W/kg KG) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

4.1.4 Belastungszeiten

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Belastungszeit** in Minuten der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 91 dargestellt.

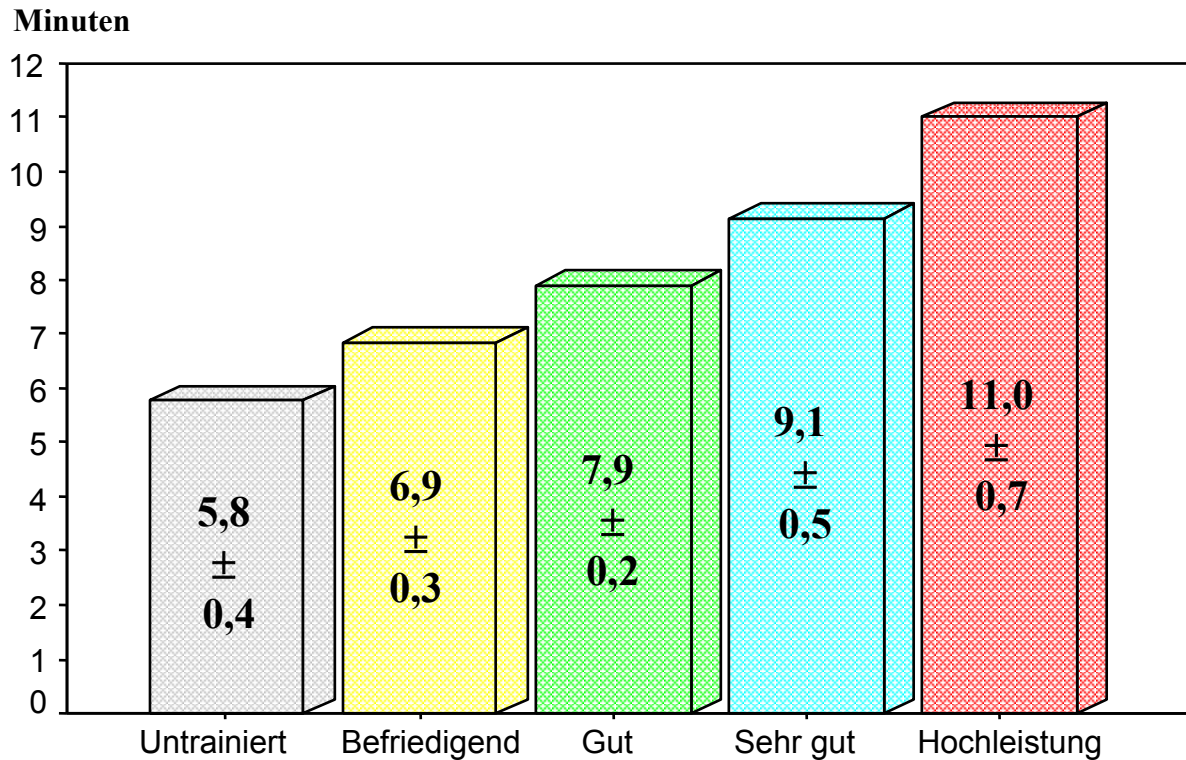
Der Mittelwert für die **Belastungszeit** liegt bei der **untrainierten Gruppe** mit **5,77 ± 0,39 min** nach den Beurteilungskriterien dieser Methode bei 3 W/kg KG und damit im untrainierten Bereich. Die **befriedigend trainierte Gruppe** mit **6,85 ± 0,25 min**, die **gut trainierte Gruppe** mit **7,90 ± 0,20 min** und die **sehr gut trainierte Gruppe** mit **9,14 ± 0,45 min** entsprechen mit ihren **Belastungszeiten** den nach der Definition festgelegten Kriterien. Die Gruppe aus dem **Hochleistungsbereich** erreichte mit **11 ± 0,70 min** die 6 W/kg KG Stufe. Die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei den Belastungszeiten sind der Tab. 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Belastungszeit in Minuten - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Belastungszeit – Trainingszustand



Belastungszeit Minuten	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	5,77	6,85	7,90	9,14	11,00
$\pm 1s$	0,39	0,25	0,20	0,45	0,70
n	25	54	85	72	9

Abb. 91: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungszeiten (Minuten) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Giessener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Belastungszeit** in Minuten der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 92 dargestellt.

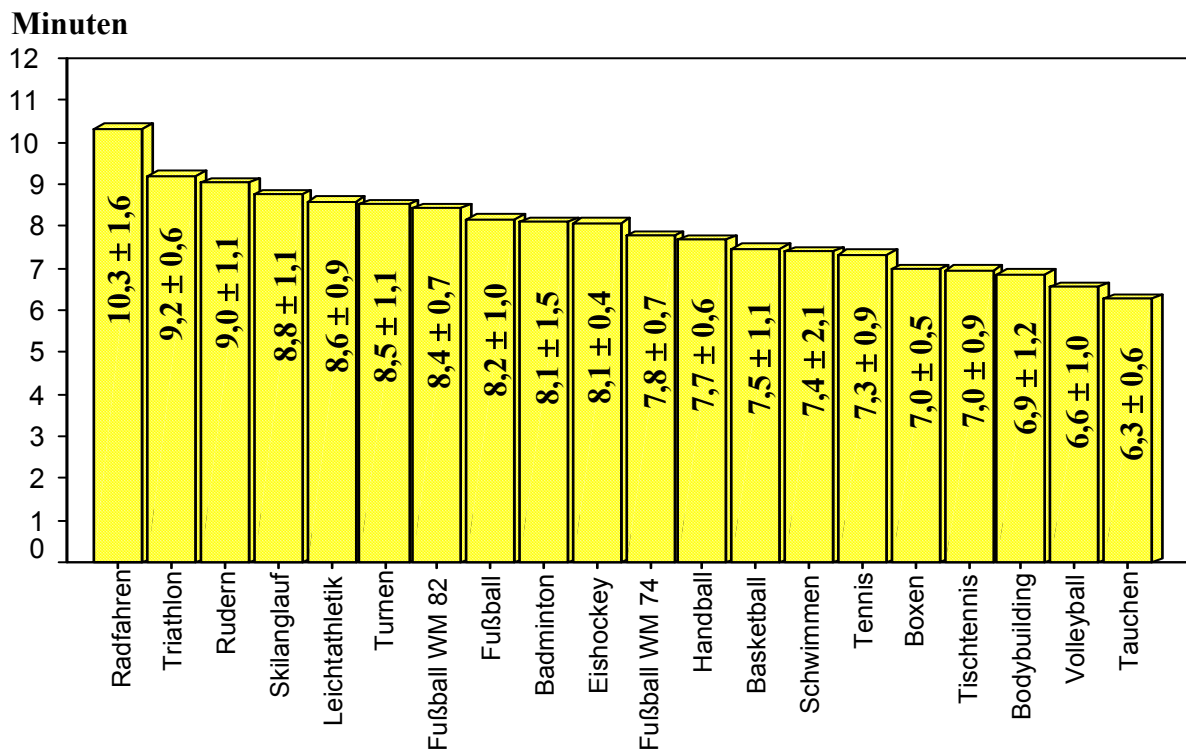
Die **Belastungszeit** bei den **Straßenradfahrern** mit **10,33 ± 1,56 Minuten** ist am höchsten und bei den **Tauchern** mit **6,28 ± 0,58 Minuten** am **niedrigsten**. Die Belastungszeit der **Straßenradfahrer** aus dem Hochleistungsbereich ist im Vergleich zur zweitplazierten Gruppe, den **Triathleten** mit **9,21 ± 0,64 Minuten**, schon **signifikant** ($P \leq 0,05$) länger, zu den **Ruderern** mit **9,03 ± 1,06 Minuten** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zu allen anderen Sportarten **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) höher.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Belastungszeit** in Minuten der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5** unterschiedlichen **fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 93 dargestellt.

Die sehr gut trainierten Probanden erreichen mit dem **Hollmann-Verfahren** die **längste Belastungszeit** mit **22,7 ± 3,4 Minuten**. Die Belastungszeit beim **Hollmann-Verfahren** ist im Vergleich zu der **1 W/kg KG-Methode** mit **9,0 ± 1,1 Minuten**, zu dem **BAL-Verfahren** mit **12,0 ± 3,0 Minuten** und zu dem **Knipping-Verfahren** mit **10,8 ± 4,5 Minuten** **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) und zu der **0,5 W/kg KG-Methode** mit **16,5 ± 1,9 Minuten** auch noch **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) länger.

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden bei der Belastungszeit sind der Tab. 13 zu entnehmen.

Belastungszeit – Sportarten

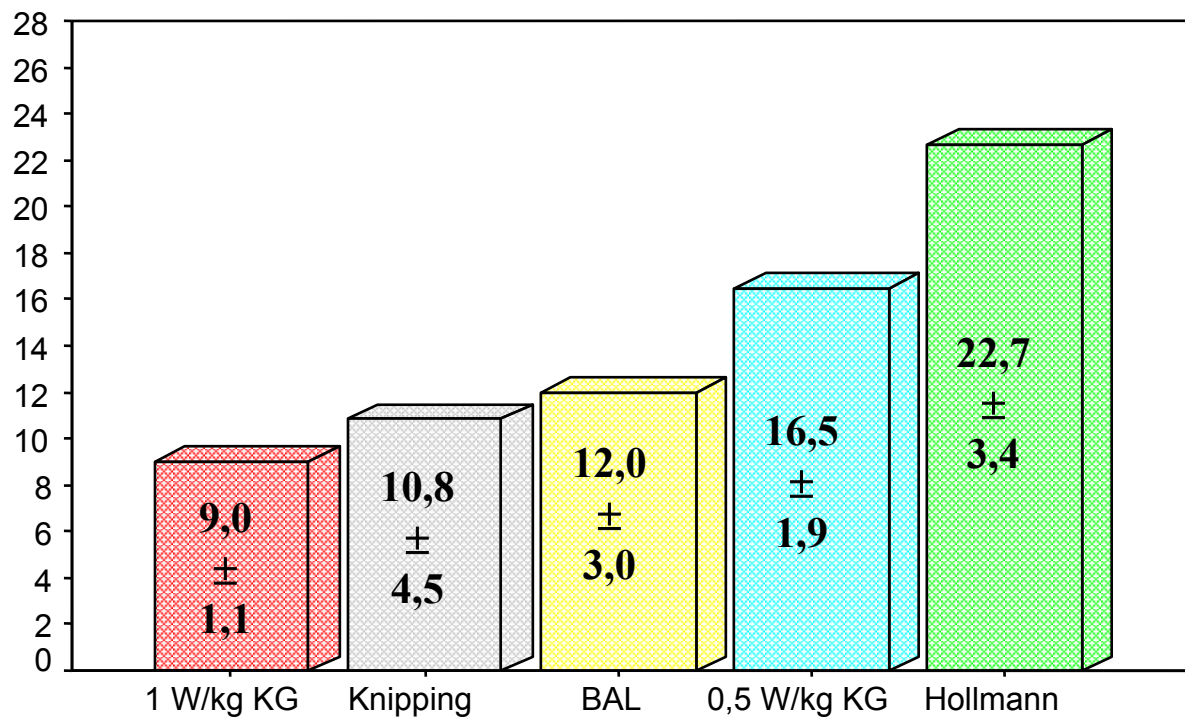


Sportart	Belastungszeit Minuten		Sportart	Belastungszeit Minuten	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	10,33 ± 1,56	Fußball WM 74	23	7,78 ± 0,69
Triathlon	6	9,21 ± 0,64	Handball	11	7,68 ± 0,64
Rudern	10	9,03 ± 1,06	Basketball	16	7,46 ± 1,09
Skilanglauf	9	8,75 ± 1,12	Schwimmen	5	7,40 ± 2,07
Leichtathletik	17	8,59 ± 0,87	Tennis	10	7,33 ± 0,89
Turnen	8	8,53 ± 1,12	Boxen	5	6,98 ± 0,50
Fußball WM 82	15	8,44 ± 0,66	Tischtennis	12	6,96 ± 0,86
Fußball	21	8,17 ± 0,98	Bodybuilding	7	6,86 ± 1,18
Badminton	11	8,10 ± 1,46	Volleyball	10	6,55 ± 0,96
Eishockey	10	8,08 ± 0,41	Tauchen	12	6,28 ± 0,58

Abb. 92: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungszeiten (Minuten) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Belastungszeit – Belastungsmethoden

Minuten



Belastungszeit Minuten	1 W/kg KG	Knipping	BAL	0,5 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	9,03	10,83	12,00	16,50	22,67
$\pm 1s$	1,08	4,45	2,98	1,87	3,44
n	6	6	6	6	6

Abb. 93: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungszeiten (Minuten) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 13: Belastungszeit in Minuten - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

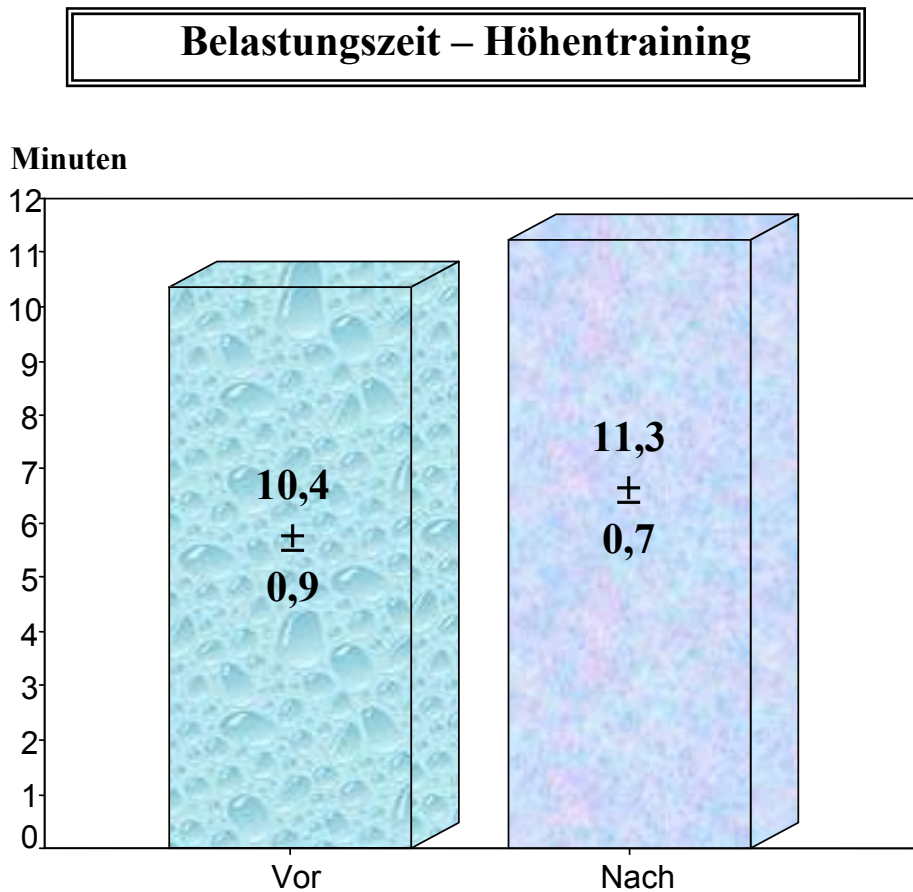
Methode	1 W/kg KG		Knipping		BAL		0,5 W/kg KG		Hollmann	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
1 W/kg KG			1,80	ns	2,97	ns	7,47	***	13,64	***
Knipping					1,17	ns	5,67	**	11,84	***
BAL							4,50	*	10,67	***
0,5 W/kg KG									11,84	***
Hollmann										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Belastungszeit** in Minuten der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 94 dargestellt.

Die **Belastungszeit der Ruderer vor dem Höhenttraining** beträgt **10,4 ± 0,9 Minuten** und **nach dem Höhenttraining** **11,3 ± 0,7 Minuten**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **0,9 Minuten** ist **nicht signifikant** (**P > 0,05**).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Belastungszeiten** in Minuten der **sehr gut trainierten** Probanden – **Gruppe Athleten 2002** – bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 95 dargestellt.

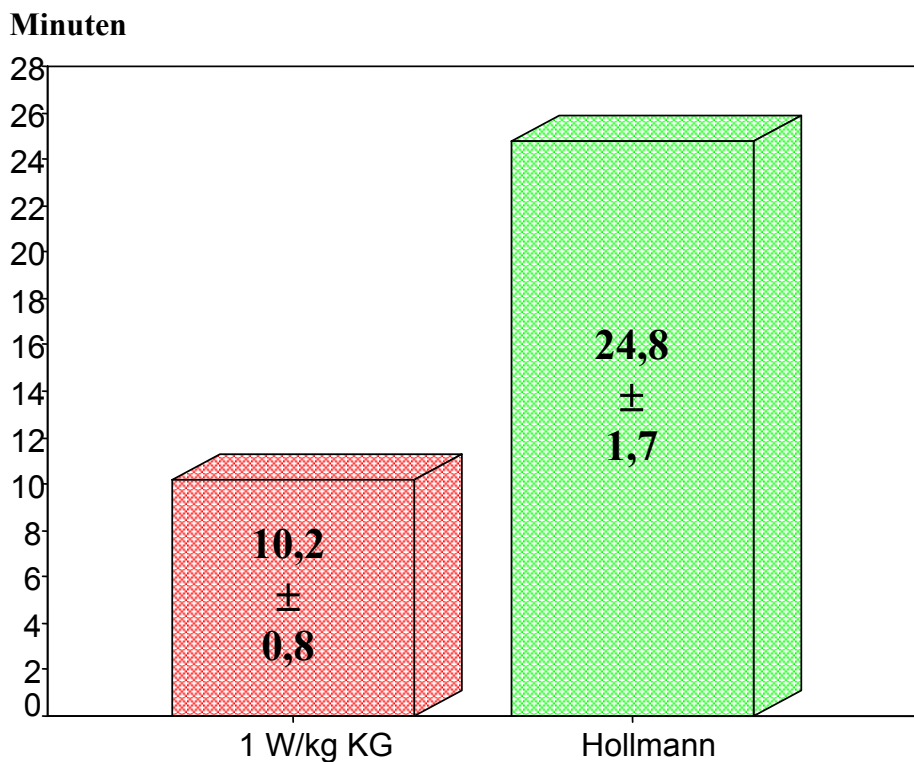
Die **Belastungszeit** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt **10,2 ± 0,8 Minuten** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **24,8 ± 1,7 Minuten**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **14,6 Minuten** ist **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**).



Belastungszeit Minuten	Vor dem Höhenttraining	Nach dem Höhenttraining
\bar{x}	10,38	11,25
$\pm 1s$	0,92	0,71
n	8	8

Abb. 94: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungszeiten (Minuten) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Belastungszeit – Gruppe Athleten 2002



Belastungszeit Minuten	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	10,22	24,78
$\pm 1s$	0,83	1,72
n	9	9

Abb. 95: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungszeit (Minuten) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

4.1.5 Physical Working Capacity – PWC₁₇₀

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Physical Working Capacity – PWC₁₇₀** der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 96 dargestellt.

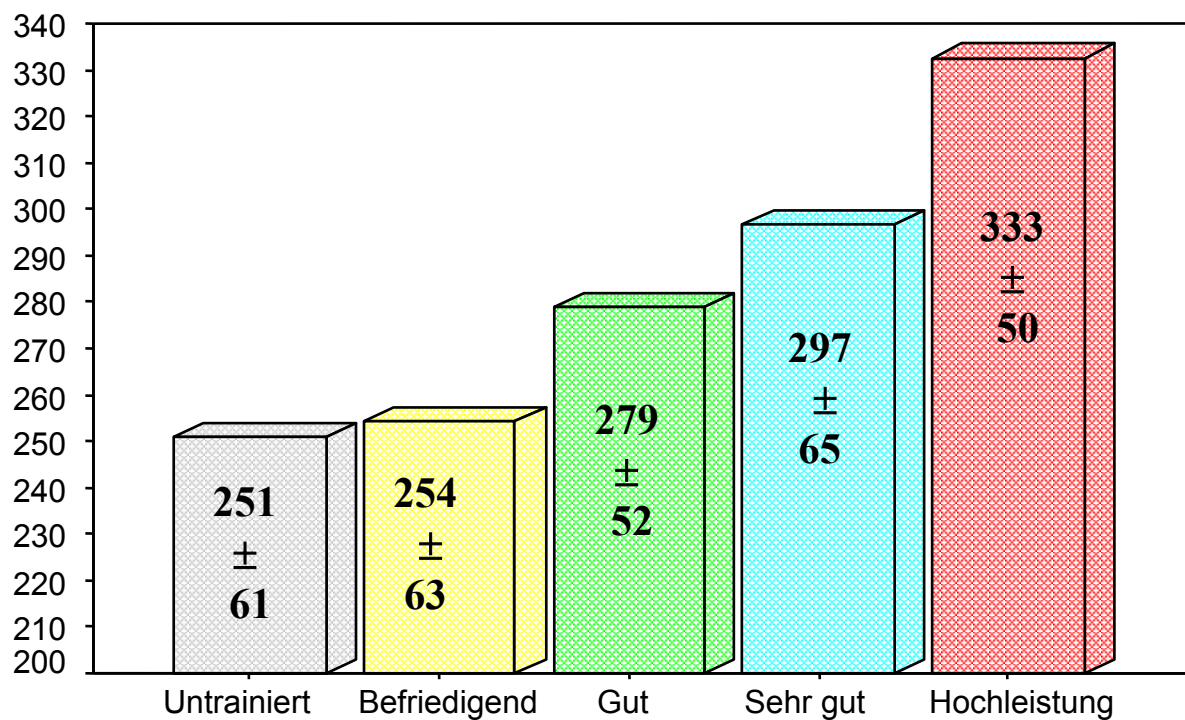
Der Unterschied zwischen der **untrainierten Gruppe** mit **251 ± 61 Watt** im Vergleich zu der **befriedigend trainierten Gruppe** mit **254 ± 63 Watt** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$), dagegen zu der **gut trainierten Gruppe** mit **279 ± 52 Watt** **signifikant** ($P \leq 0,05$), zu der **sehr gut trainierten Gruppe** mit **297 ± 65 Watt** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zu der **Hochleistungsgruppe** mit **333 ± 50 Watt** **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die Differenz der **PWC₁₇₀** mit **25 Watt** zwischen der **befriedigend trainierten Gruppe** ist im Vergleich zu der **gut trainierten Gruppe** **signifikant** ($P \leq 0,05$), zu der **sehr gut trainierten Gruppe** und zur **Hochleistungsgruppe** **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$). Der **PWC₁₇₀**-Unterschied zwischen der **gut trainierten Gruppe** ist im Vergleich zu der **sehr gut trainierten Gruppe** **nicht signifikant** ($P > 0,05$), dagegen zu der **Hochleistungsgruppe** mit **54 Watt** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$). Der Unterschied zwischen der **sehr gut trainierten Gruppe** und der **Hochleistungsgruppe** ist mit einem **PWC₁₇₀**-Unterschied von **36 Watt** **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der **Physical Working Capacity** (**PWC₁₇₀ Watt**) sind der Tab. 14 zu entnehmen.

PWC₁₇₀ Watt – Trainingszustand

PWC₁₇₀ Watt



PWC ₁₇₀ Watt	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	251	254	279	297	333
$\pm 1s$	61	63	52	65	50
n	25	54	85	72	9

Abb. 96: Mittelwerte und Standardabweichungen der Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 14: Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt) - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			3	ns	28	*	46	***	82	***
Befriedigend					25	*	43	***	79	***
Gut							18	ns	54	**
Sehr gut									36	ns
Hochleistung										

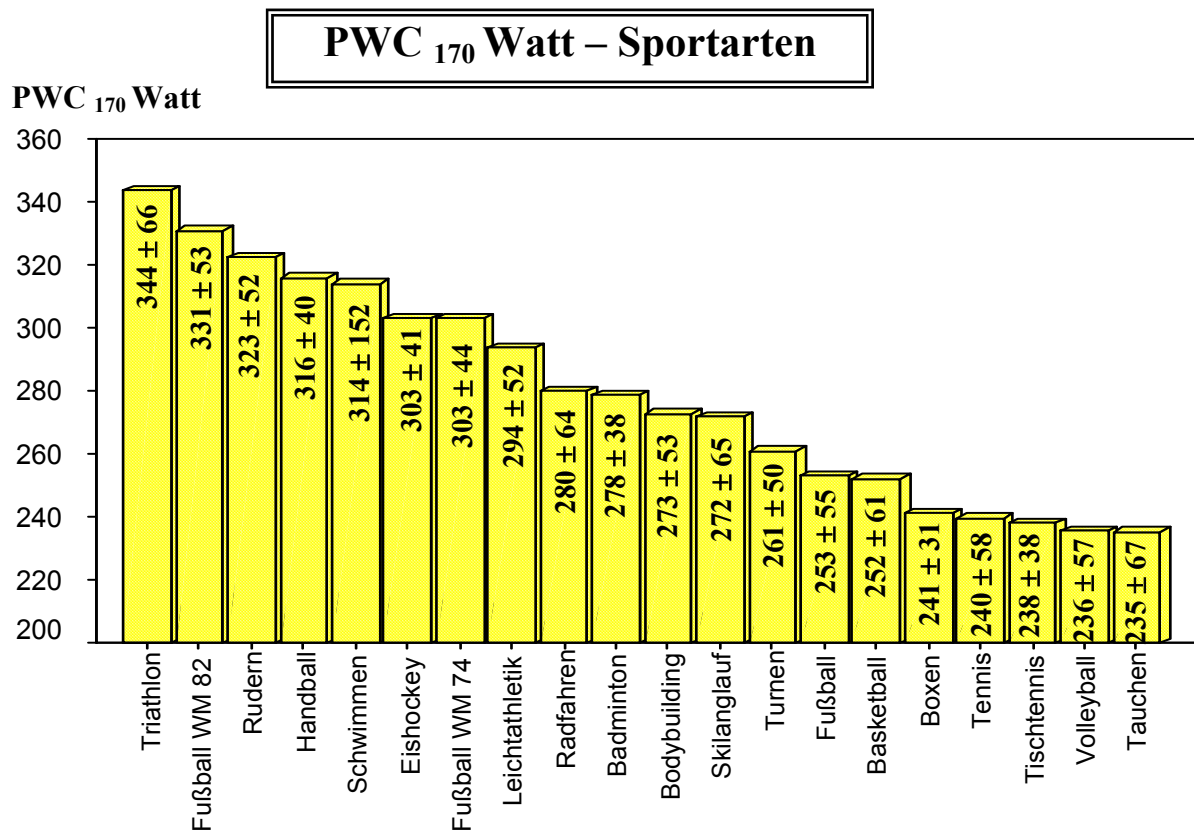
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Physical Working Capacity – PWC₁₇₀** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 97 dargestellt.

Die **Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt)** bei den **Triathleten** ist mit **344 ± 66 Watt** der **größte Wert** und bei den **Tauchern** mit **235 ± 67 Watt** der **niedrigste Wert**.

Die **Triathleten** haben im Vergleich zu den **Basketballspielern** mit **252 ± 61 Watt**, zu den **Fußballspielern** mit **253 ± 55 Watt**, zu den **Tauchern** mit **235 ± 67 Watt**, zu den **Tennispielern** mit **240 ± 58 Watt**, zu den **Tischtennispielern** mit **238 ± 38 Watt** und **Volleyballspielern** mit **236 ± 57 Watt** eine **hoch signifikant (P ≤ 0,001)** höhere **PWC₁₇₀**. Zu den Sportarten **Boxen** mit **241 ± 31** und **Turnen** mit einer **PWC₁₇₀ von 261 ± 50 Watt** ist der höhere Wert der **Triathleten** mit **344 Watt** **sehr signifikant (P ≤ 0,01)**.

Auch die **Badminton-Spieler** mit **278 ± 38 Watt**, die **Bodybuilder** mit **273 ± 53 Watt**, die **Straßenradfahrer** mit **280 ± 64 Watt** und die **Skilangläufer** mit **272 ± 65 Watt** erreichten relativ hohe **PWC₁₇₀-Werte**, die nur noch **signifikant (P ≤ 0,05)** niedriger als bei der Sportart **Triathlon** liegen.

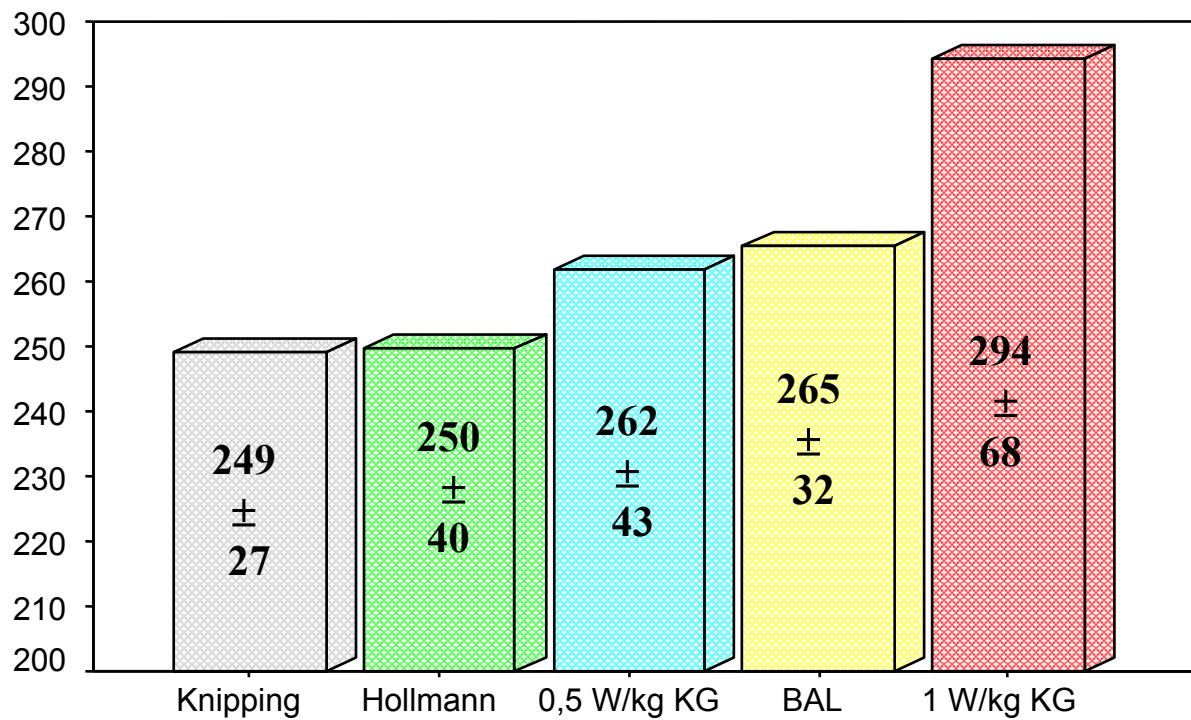
Wie erwartet fanden wir auch bei den **Fußballspielern (WM 82 und 74)**, **Ruderern**, **Handballspielern**, **Schwimmern**, **Eishockeyspielern** und **Leichtathleten** hohe **PWC₁₇₀-Werte**, die nicht mehr **signifikant (P > 0,05)** unter dem Wert der **Triathleten** liegen (siehe Abb. 97). Weiter interessierende Unterschiede bei der **PWC₁₇₀** zwischen den Sportarten können anhand der angegebenen Mittelwerte, 1s-Streuung und den n-Zahlen leicht auf ihre Signifikanz überprüft werden.



Sportart	PWC ₁₇₀ Watt		Sportart	PWC ₁₇₀ Watt	
	n	M ± s		n	M ± s
Triathlon	6	344 ± 66	Bodybuilding	7	273 ± 53
Fußball WM 82	15	331 ± 53	Skilanglauf	9	272 ± 65
Rudern	10	323 ± 52	Turnen	8	261 ± 50
Handball	11	316 ± 40	Fußball	21	253 ± 55
Schwimmen	5	314 ± 152	Basketball	16	252 ± 61
Eishockey	10	303 ± 41	Boxen	5	241 ± 31
Fußball WM 74	23	303 ± 44	Tennis	10	240 ± 58
Leichtathletik	17	294 ± 52	Tischtennis	12	238 ± 38
Radfahren	9	280 ± 64	Volleyball	10	236 ± 57
Badminton	11	278 ± 38	Tauchen	12	235 ± 67

Abb. 97: Mittelwerte und Standardabweichungen der Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

PWC₁₇₀ Watt – Belastungsmethoden

PWC₁₇₀ Watt

PWC ₁₇₀ Watt	Knipping	Hollmann	0,5 W/kg KG	BAL	1 W/kg KG
\bar{x}	249	250	262	265	294
$\pm 1s$	27	40	43	32	68
n	6	6	6	6	6

Abb. 98: Mittelwerte und Standardabweichungen der Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

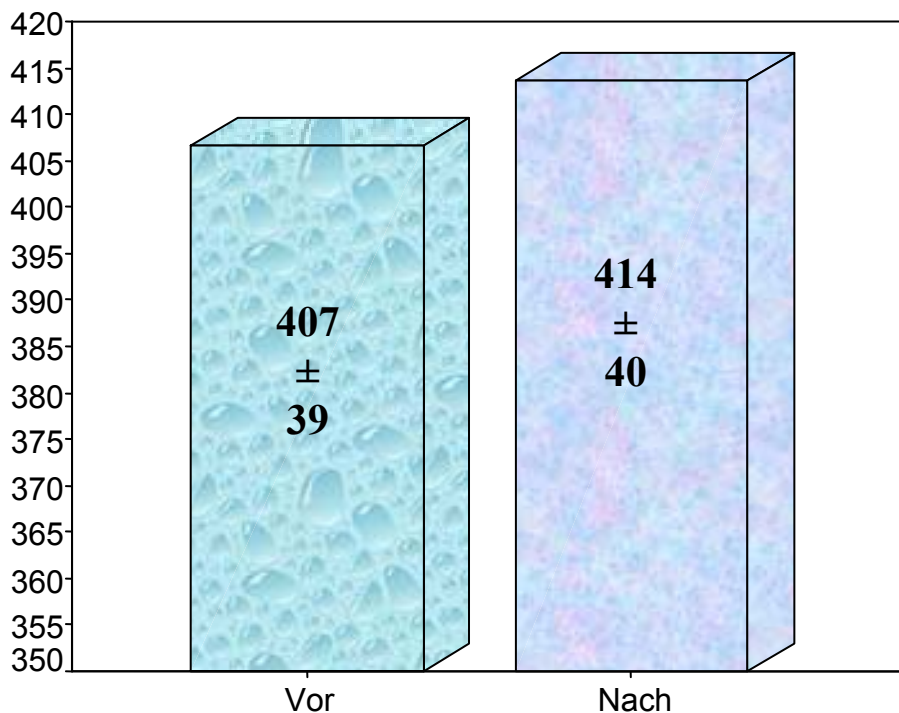
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Physical Working Capacity – PWC₁₇₀** der **Elite- Ruderer** - Adam Achter – bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 99 dargestellt.

Die **Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt)** beträgt **vor dem Höhenttraining 407 ± 39 Watt** und **nach dem Höhenttraining 414 ± 40 Watt**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **7 Watt** ist **nicht signifikant (P > 0,05)**.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Physical Working Capacity - PWC₁₇₀** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 100 dargestellt.

Die **Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt)** bei der **1 W/kg KG-Methode** beträgt **333 ± 68 Watt** und bei dem **Hollmann-Verfahren 275 ± 49 Watt**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **58 Watt** ist **nicht signifikant (P > 0,05)**.

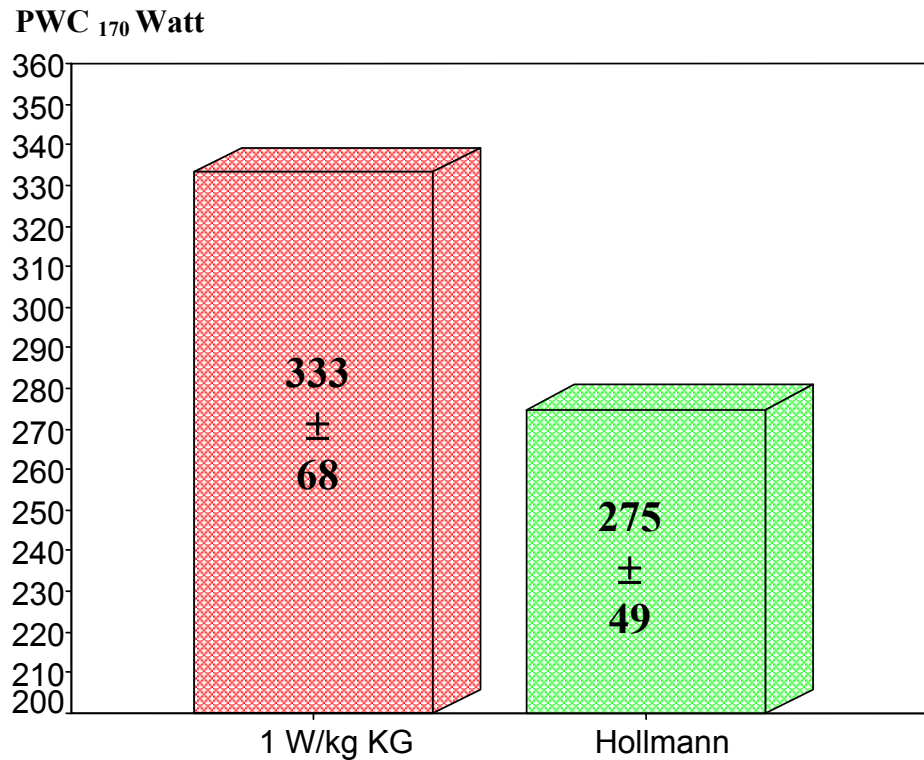
PWC₁₇₀ Watt – Höhenttraining

PWC₁₇₀ Watt

PWC ₁₇₀ Watt	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
\bar{x}	407	414
$\pm 1s$	39	40
n	8	8

Abb. 99: Mittelwerte und Standardabweichungen der Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

PWC₁₇₀ Watt – Gruppe Athleten 2002

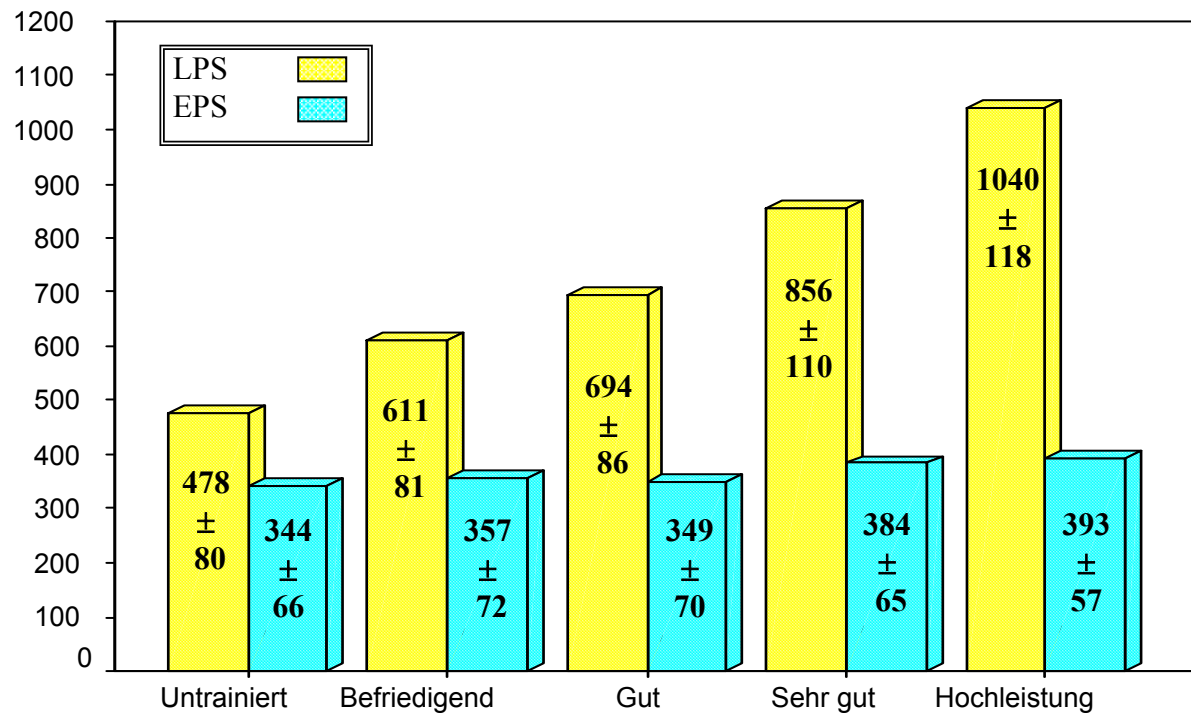


PWC ₁₇₀ Watt	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	333	275
$\pm 1s$	68	49
n	9	9

Abb. 100: Mittelwerte und Standardabweichungen der Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Pulssummen – Trainingszustand

Pulssummen



Pulssummen	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
LPS	478 ± 80	611 ± 81	694 ± 86	856 ± 110	1040 ± 118
EPS	344 ± 66	357 ± 72	349 ± 70	384 ± 65	393 ± 57
n	25	54	85	72	9

Abb. 101: Mittelwerte und Standardabweichungen der Pulssummen in der Leistungs- (LPS) und 5-minütigen Erholungsphase (EPS) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Erholungspulssumme** (EPS) der **sehr gut trainierten Gruppe** ist mit 384 ± 65 Hf im Vergleich zur **untrainierten Gruppe** mit 344 ± 66 Hf und zur **befriedigend trainierten Gruppe** mit 357 ± 72 Hf **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer. Der Unterschied zur **gut trainierten Gruppe** mit 349 ± 70 Hf ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$), dagegen ist er zur **Hochleistungsgruppe** mit 393 ± 57 Hf **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Erholungspulssumme sind der Tab. 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Erholungspulssumme - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

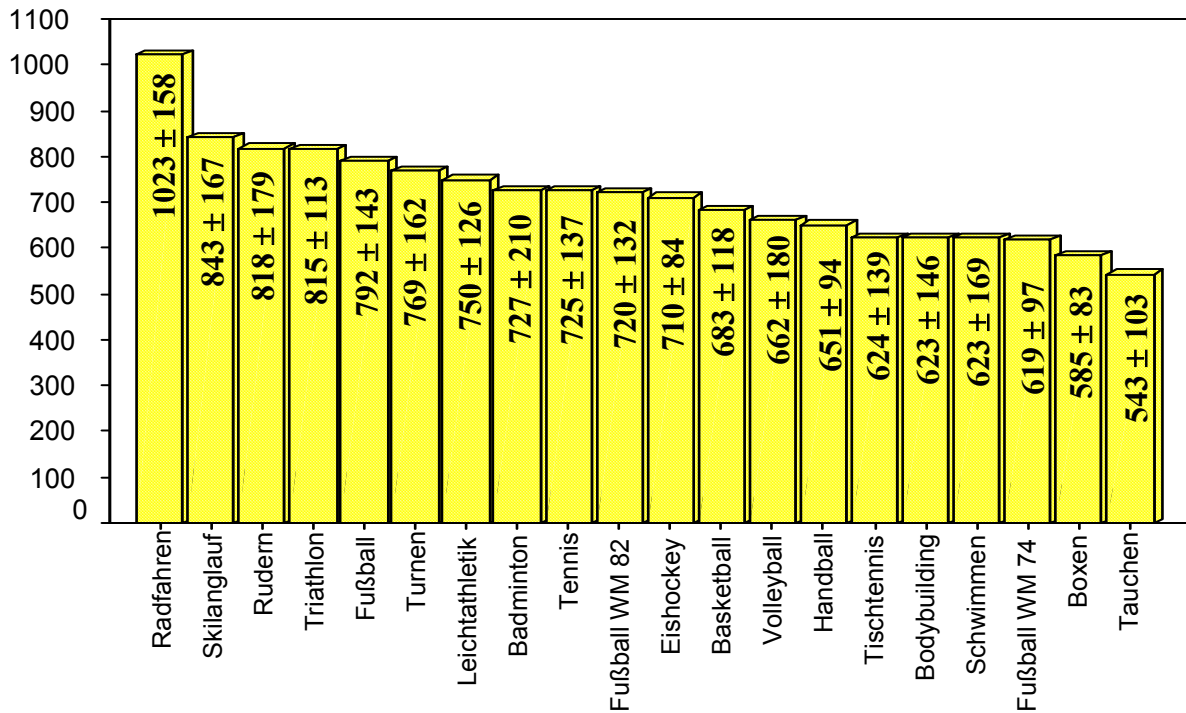
Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			13	ns	5	ns	40	*	49	ns
Befriedigend					8	ns	27	*	36	ns
Gut							35	***	44	ns
Sehr gut									9	ns
Hochleistung										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Leistungspulssumme** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 102 dargestellt.

Die **Leistungspulssumme** (LPS) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Radfahrern** mit 1023 ± 158 Hf am **größten**. Bei den **Tauchern** berechneten wir den mit 543 ± 103 Hf **niedrigsten Wert**. Die Leistungspulssumme der **Straßenradfahrer** ist im Vergleich zum **Skilanglauf** mit 843 ± 167 Hf und zum **Triathlon** mit 815 ± 113 Hf **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zu allen anderen Sportarten **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) größer.

Leistungspulssumme – Sportarten

Leistungspulssumme



Sportart	LPS		Sportart	LPS	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	1023 ± 158	Eishockey	10	710 ± 84
Skilanglauf	9	843 ± 167	Basketball	16	683 ± 118
Rudern	10	818 ± 179	Volleyball	10	662 ± 180
Triathlon	6	815 ± 113	Handball	11	651 ± 94
Fußball	21	792 ± 143	Tischtennis	12	624 ± 139
Turnen	8	769 ± 162	Bodybuilding	7	623 ± 146
Leichtathletik	17	750 ± 126	Schwimmen	5	623 ± 169
Badminton	11	727 ± 210	Fußball WM 74	23	619 ± 97
Tennis	10	725 ± 137	Boxen	5	585 ± 83
Fußball WM 82	15	720 ± 132	Tauchen	12	543 ± 103

Abb. 102: Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungspulssumme (LPS) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Erholungspulssumme** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 103 dargestellt.

Die **Erholungspulssumme** ist bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** bei den **Tennisspielern** mit 410 ± 38 Hf am **größten** und bei den **Boxern** mit 292 ± 59 Hf am **niedrigsten**. Die EPS beim **Tennis** ist im Vergleich zum **Handball** mit 347 ± 54 Hf, zur **Leichtathletik** mit 354 ± 58 Hf und zum **Tauchen** mit 355 ± 60 Hf **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer, im Vergleich zum **Eishockey** mit 334 ± 61 Hf, zum **Fußball WM 82** mit 327 ± 57 Hf und zum **Triathlon** mit 319 ± 106 Hf **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$), dagegen zum **Boxen** mit 292 ± 59 Hf und zur Mannschaft des **Fußball-Weltmeisters 1974** mit 304 ± 70 Hf **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) größer. Zu allen anderen Sportarten sind die Unterschiede **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Leistungs- und Erholungspulssumme** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 104 dargestellt.

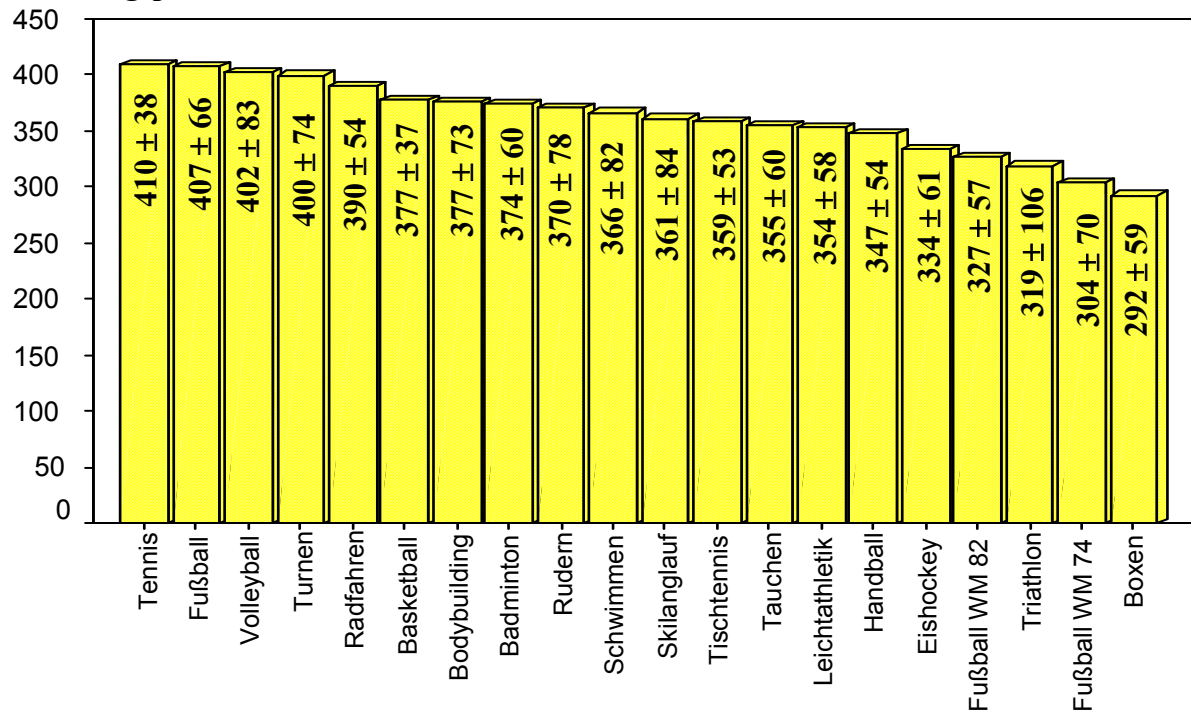
Die **Leistungspulssumme** bei dem **Hollmann-Verfahren** ist mit 1931 ± 459 Hf am **größten**, bei der **1 W/kg KG-Methode** mit 885 ± 196 Hf am **niedrigsten**. Das **Hollmann-Verfahren** bedingt im Vergleich zu der **0,5 W/kg KG-Methode** mit 1403 ± 288 Hf eine **signifikant** ($P \leq 0,05$) höhere LPS, zu dem **BAL-Verfahren** mit 1243 ± 364 Hf und zu dem **Knipping-Verfahren** mit 1231 ± 546 Hf eine **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zur **1 W/kg KG-Methode** eine **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) höhere Leistungspulssumme.

Bei der **1 W/kg KG-Methode** liegt die LPS im Vergleich zu der **0,5 W/kg KG-Methode** **signifikant** ($P \leq 0,05$) niedriger. Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die entsprechenden Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden bei der Leistungspulssumme sind der Tab. 18 zu entnehmen.

Erholungspulssumme – Sportarten

Erholungspulssumme

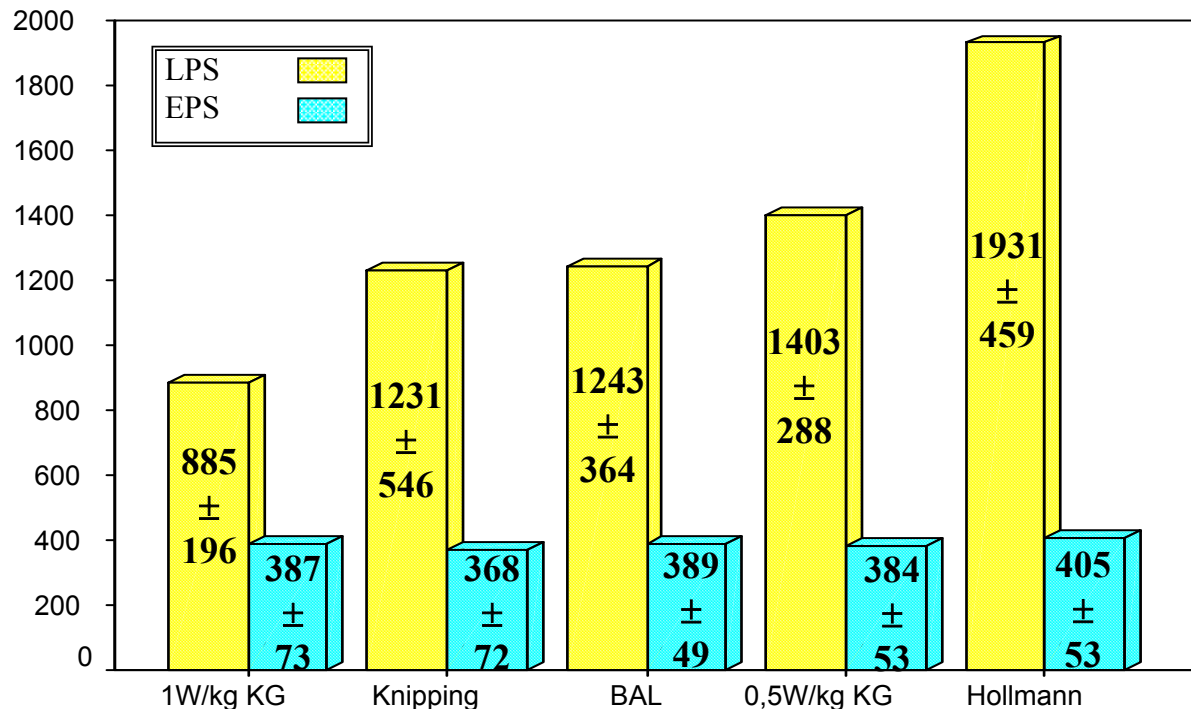


Sportart	EPS		Sportart	EPS	
	n	M ± s		n	M ± s
Tennis	10	410 ± 38	Skilanglauf	9	361 ± 84
Fußball	21	407 ± 66	Tischtennis	12	359 ± 53
Volleyball	10	402 ± 83	Tauchen	12	355 ± 60
Turnen	8	400 ± 74	Leichtathletik	17	354 ± 58
Radfahren	9	390 ± 54	Handball	11	347 ± 54
Basketball	16	377 ± 37	Eishockey	10	334 ± 61
Bodybuilding	7	377 ± 73	Fußball WM 82	15	327 ± 57
Badminton	11	374 ± 60	Triathlon	12	319 ± 106
Rudern	10	370 ± 78	Fußball WM 74	23	304 ± 70
Schwimmen	5	366 ± 82	Boxen	5	292 ± 59

Abb. 103: Mittelwerte und Standardabweichungen der Erholungspulssumme (EPS) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Pulssummen – Belastungsmethoden

Pulssummen



Pulssummen	1 W/kg KG	Knipping	BAL	0,5 W/kg KG	Hollmann
LPS	885 ± 196	1231 ± 546	1243 ± 364	1403 ± 288	1931 ± 459
EPS	387 ± 73	368 ± 72	389 ± 49	384 ± 53	405 ± 53
n	6	6	6	6	6

Abb. 104: Mittelwerte und Standardabweichungen der Pulssummen in der Leistungs- (LPS) und 5-minütigen Erholungsphase (EPS) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

[illegible]

Tabelle 19: Erholungspulssumme - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

[illegible]

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Pulssumme** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 105 dargestellt.

Die **Leistungspulssumme vor dem Höhenttraining** beträgt 1069 ± 72 Hf und **nach dem Höhenttraining** 1175 ± 92 Hf. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **106 Herzschlägen** ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Die **Erholungspulssumme vor dem Höhenttraining** lag bei 355 ± 45 Hf und **nach dem Höhenttraining** bei 369 ± 64 Hf. Der Unterschied mit der um **14 Herzschläge** höheren **EPS nach dem Höhenttraining** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

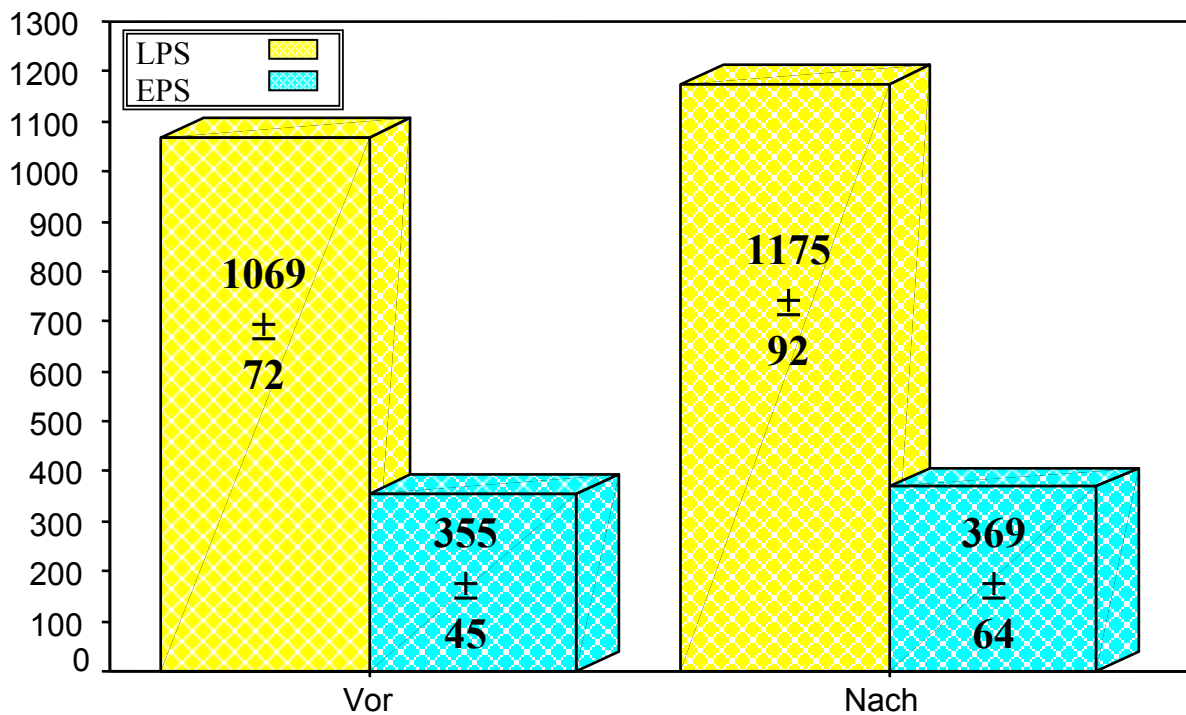
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Pulssummen (LPS u. EPS)** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 106 dargestellt.

In der Phase der erschöpfenden Spiroergometrie beträgt die **Leistungspulssumme** bei der **1 W/kg KG-Methode** 937 ± 179 Hf und bei dem **Hollmann-Verfahren** 1920 ± 394 Hf. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **983 Hf** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

In der 5-minütigen **Erholungsphase** beträgt die **Erholungspulssumme** bei der **1 W/kg KG-Methode** 365 ± 94 Hf und bei dem **Hollmann-Verfahren** 327 ± 65 Hf. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **38 Hf** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Pulssummen – Höhenttraining

Pulssummen

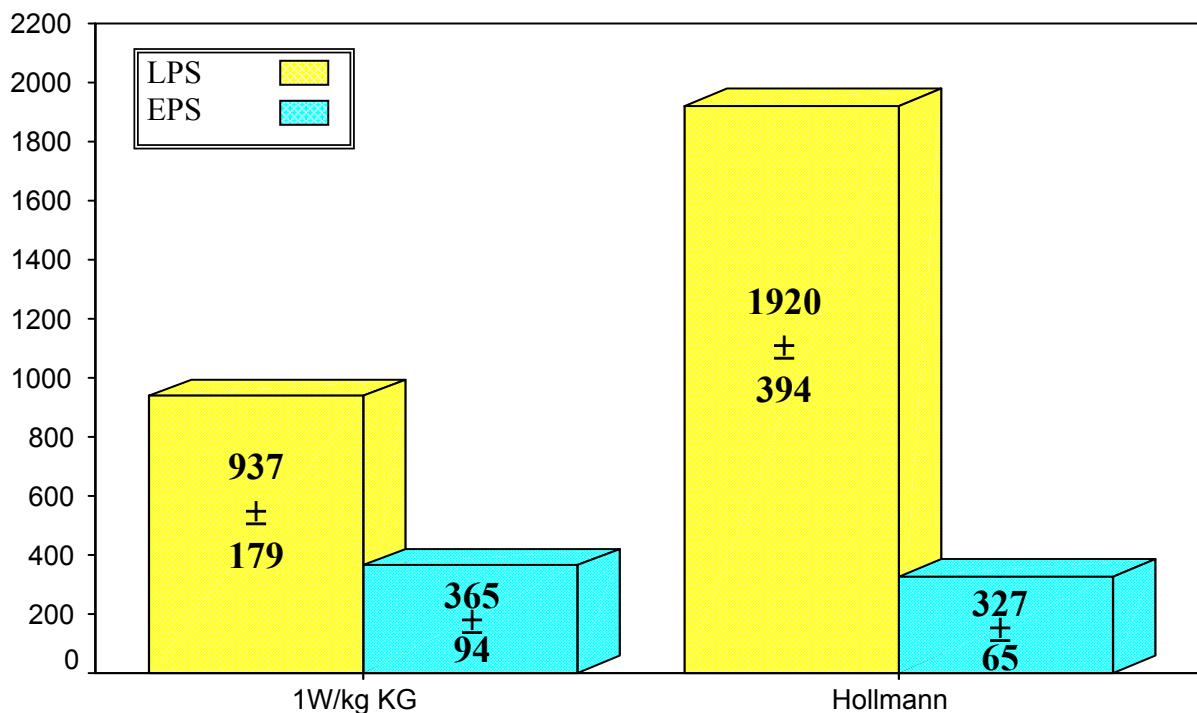


Pulssummen	vor dem Höhenttraining	nach dem Höhenttraining
LPS	1069 ± 72	1175 ± 92
EPS	355 ± 45	369 ± 64
n	8	8

Abb. 105: Mittelwerte und Standardabweichungen der Pulssummen in der Leistungs- (LPS) und 5-minütigen Erholungsphase (EPS) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Pulssummen – Gruppe Athleten 2002

Pulssummen



Pulssummen	1 W/kg KG	Hollmann
LPS	937 ± 179	1920 ± 394
EPS	365 ± 94	327 ± 65
n	9	9

Abb. 106: Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungs- (LPS) und Erholungspulssumme (EPS) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Blutdruck (RR mmHg)** der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 107 dargestellt.

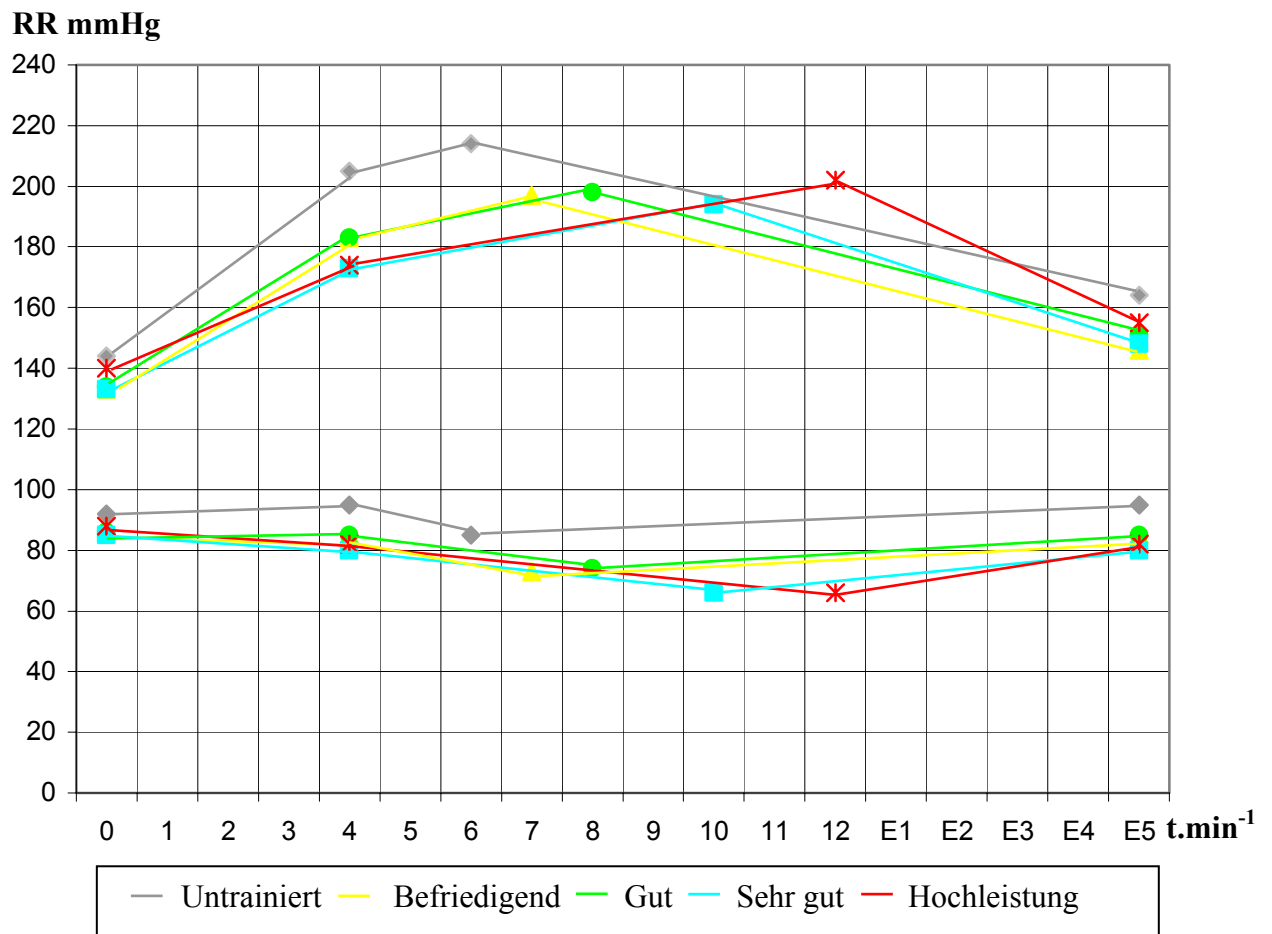
Aus Gründen der **Statistik** wurden aber die rechnerischen Mittelwerte des **systolischen** und **diastolischen Blutdrucks** verwendet.

Die Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen beim systolischen Blutdruck in der Vorstartphase sind der Tab. 20 zu entnehmen.

Tabelle 20: Systolischer Blutdruck in Ruhe - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Blutdruck – Trainingszustand



Blutdruck mmHg	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
Vorstart	144 / 92	133 / 86	134 / 86	133 / 85	141 / 88
Submaximal	205 / 95	183 / 85	183 / 85	173 / 80	174 / 82
Maximal	214 / 85	197 / 73	198 / 74	194 / 66	202 / 66
E5	164 / 81	146 / 74	151 / 74	148 / 70	155 / 70
n	25	54	85	72	9

Abb. 107: Mittelwerte des Blutdrucks (RR mmHg) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 23: Submaximaler diastolischer Blutdruck - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Die durchschnittlichen **maximalen Blutdruckwerte** am Ende der Erschöpfungsminute liegen bei der **untrainierten Gruppe** bei **214 / 85 mmHg**, bei der **befriedigend trainierten Gruppe** bei **197 / 73 mmHg**, bei der **gut trainierten Gruppe** bei **198 / 74 mmHg**, bei der **sehr gut trainierten Gruppe** bei **194 / 66 mmHg** und bei der **Hochleistungsgruppe** bei **202 / 66 mmHg**.

Tabelle 24: Maximaler systolischer Blutdruck - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Die Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen beim maximalen diastolischen Blutdruck sind der Tab. 25 zu entnehmen.

Tabelle 25: Maximaler diastolischer Blutdruck - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Die durchschnittlichen **Blutdruckwerte** wurden nach der **fünfminütigen Erholung** bei der **untrainierten Gruppe** mit **164 / 81 mmHg**, bei der **befriedigend trainierten Gruppe** mit **146 / 74 mmHg**, bei der **gut trainierten Gruppe** mit **151 / 74 mmHg**, bei der **sehr gut trainierten Gruppe** mit **148 / 70 mmHg** und bei der **Hochleistungsgruppe** mit **155 / 70 mmHg** registriert.

Die Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen beim systolischen Blutdruck nach 5 Minuten Erholung sind der Tab. 26 zu entnehmen.

Tabelle 26: Systolischer Blutdruck nach 5 Minuten Erholung - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

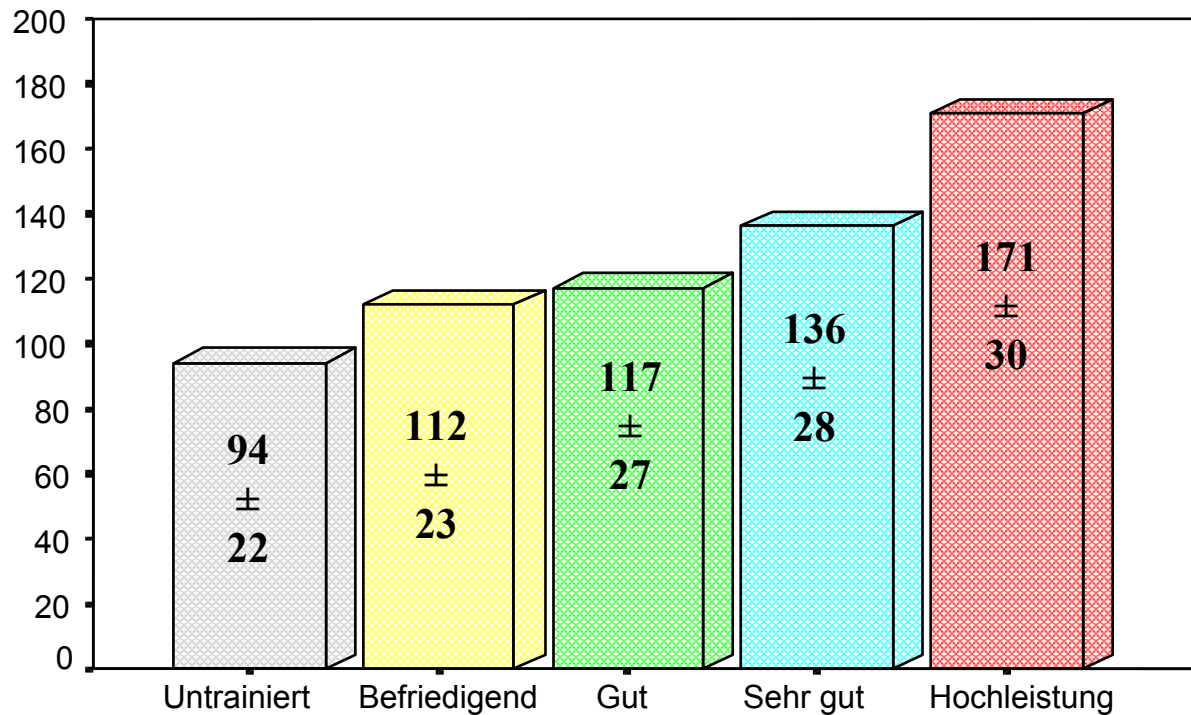
Die Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen beim diastolischen Blutdruck nach 5 Minuten Erholung sind der Tab. 27 zu entnehmen.

Tabelle 27: Diastolischer Blutdruck nach 5 Minuten Erholung - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Maximales Atemminutenvolumen – Trainingszustand

AMV l BTPS



Max. AMV l BTPS	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	94	112	117	136	171
$\pm 1s$	22	23	27	28	30
n	25	54	85	72	9

Abb. 108: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Atemminutenvolumens (AMV l BTPS) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für das **Maximale Atemminutenvolumen** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 109 dargestellt.

Das **Maximale Atemminutenvolumen** ist bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** bei der **Mannschaft des Vize-Weltmeisters Deutschland 1982 - Fußball WM 82** - mit **157 ± 26 l BTPS** am **größten**.

Dagegen wurde bei der **Deutschen Weltmeistermannschaft 1974 - Fußball WM 74** - mit **100 ± 25 l BTPS** der **niedrigste Wert** gemessen. Das **Atemminutenvolumen** der Gruppe **Fußball WM 82** liegt im Vergleich zu fast allen anderen Sportarten **signifikant** höher (**$P \leq 0,001$**). Dagegen sind die **Atemminutenvolumina** im Vergleich zu den **Ruderern** mit **11 l BTPS**, den **Handballspielern** mit **12 l BTPS**, den **Straßenradfahrern** mit **13 l BTPS** und den **Triathleten** mit **23 l BTPS** **nicht signifikant** (**$P > 0,05$**) höher.

Die weiteren Unterschiede beim **AMV max 1 BTPS** zwischen den 20 Gruppen aus 18 Sportarten können nach den Angaben der Wertetabelle (M, $\pm 1s$, n) zur Abb. 109 leicht berechnet werden.

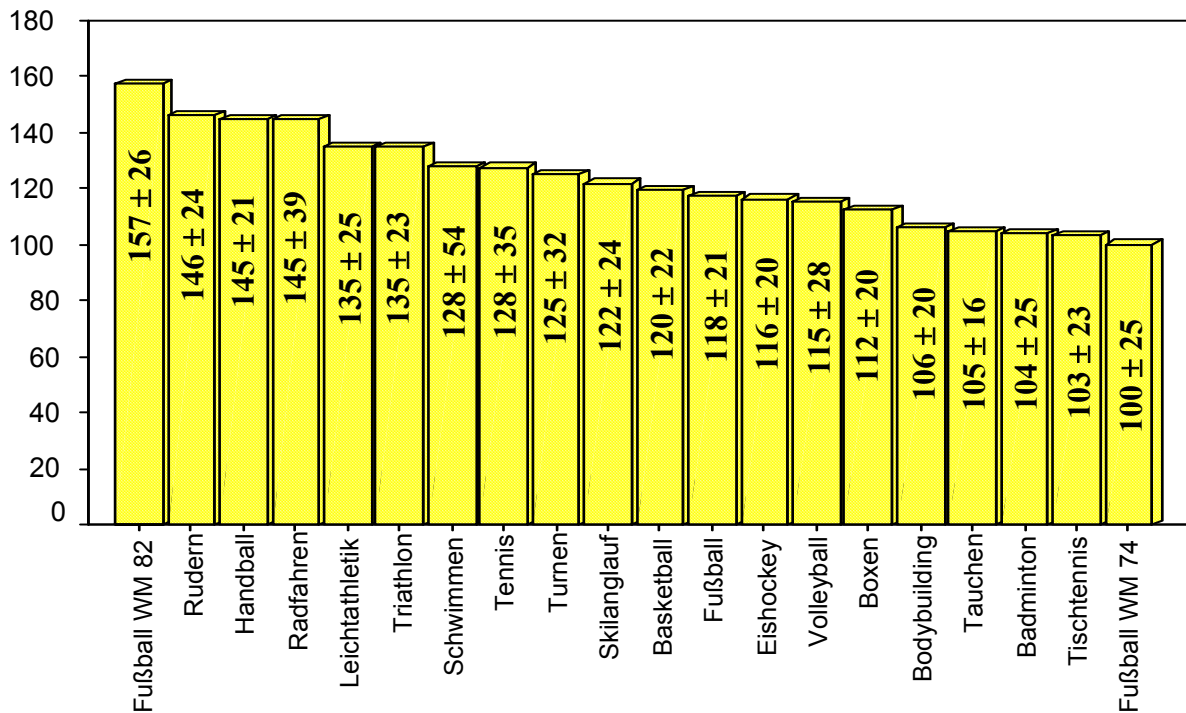
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für das **Maximale Atemminutenvolumen** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 110 dargestellt.

Das mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichte **Maximale Atemminutenvolumen** ist mit **154 ± 34 l BTPS** am **größten**. Mit dem **Knipping-Verfahren** erreichen die sehr gut trainierten Probanden das **niedrigste Maximale Atemminutenvolumen** mit **137 ± 32 l BTPS**.

Die Unterschiede beim **AMV max 1 BTPS** (Tab. 29) zwischen allen Methoden sind **nicht signifikant** (**$P > 0,05$**).

Maximales Atemminutenvolumen – Sportarten

AMV I BTPS

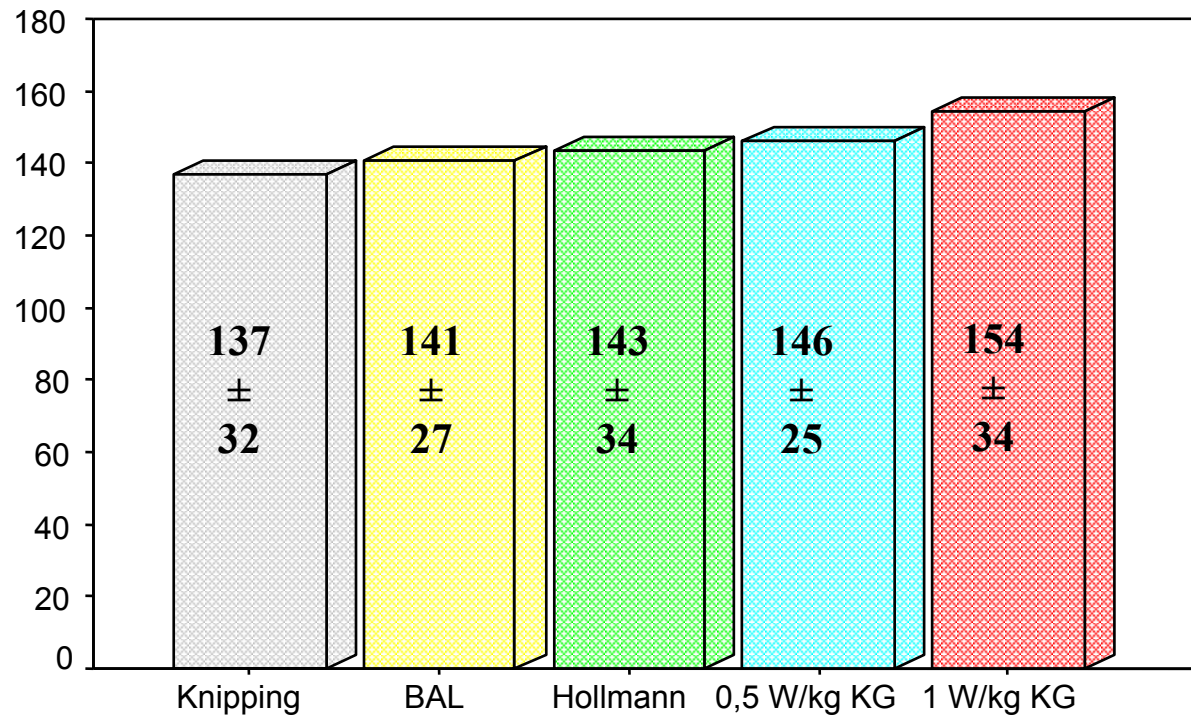


Sportart	Max. AMV I BTPS		Sportart	Max. AMV I BTPS	
	n	M ± s		n	M ± s
Fußball WM 82	15	157 ± 26	Basketball	16	120 ± 22
Rudern	10	146 ± 24	Fußball	21	118 ± 21
Handball	11	145 ± 21	Eishockey	10	116 ± 20
Radfahren	9	145 ± 39	Volleyball	10	115 ± 28
Leichtathletik	17	135 ± 25	Boxen	5	112 ± 20
Triathlon	12	135 ± 23	Bodybuilding	7	106 ± 20
Schwimmen	5	128 ± 54	Tauchen	12	105 ± 16
Tennis	10	128 ± 35	Badminton	11	104 ± 25
Turnen	8	125 ± 32	Tischtennis	12	103 ± 23
Skilanglauf	9	122 ± 24	Fußball WM 74	23	100 ± 25

Abb. 109: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Atemminutenvolumens (AMV I BTPS) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximales Atemminutenvolumen – Belastungsmethoden

AMV l BTPS



Max. AMV l BTPS	Knipping	BAL	Hollmann	0,5 W/kg KG	1 W/kg KG
\bar{x}	137	141	143	146	154
$\pm 1s$	32	27	34	25	34
n	6	6	6	6	6

Abb. 110: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Atemminutenvolumens (AMV l BTPS) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 29: Maximales Atemminutenvolumen - Differenzen mit Signifikanzen zwischen 5 ergometrischen Methoden

Methode	Knipping		BAL		Hollmann		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			4	ns	6	ns	9	ns	17	ns
BAL					2	ns	5	ns	13	ns
Hollmann							3	ns	11	ns
0,5 W/kg KG									8	ns
1 W/kg KG										

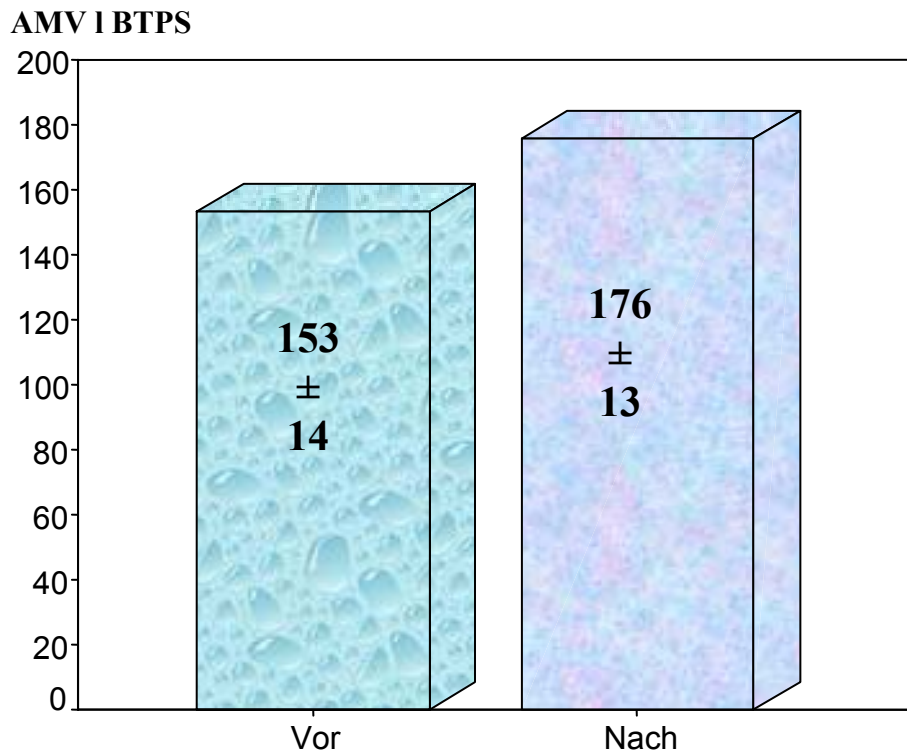
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für das **Maximale Atemminutenvolumen** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 111 dargestellt.

Das **maximale Atemminutenvolumen vor dem Höhenttraining** beträgt 153 ± 14 l BTPS und **nach dem Höhenttraining** 176 ± 13 l BTPS. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit 23 l BTPS ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für das **maximale Atemminutenvolumen** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 112 dargestellt.

Das **maximale Atemminutenvolumen** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** 138 ± 16 l BTPS und bei dem **Hollmann-Verfahren** 131 ± 19 l BTPS. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit 7 l BTPS ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

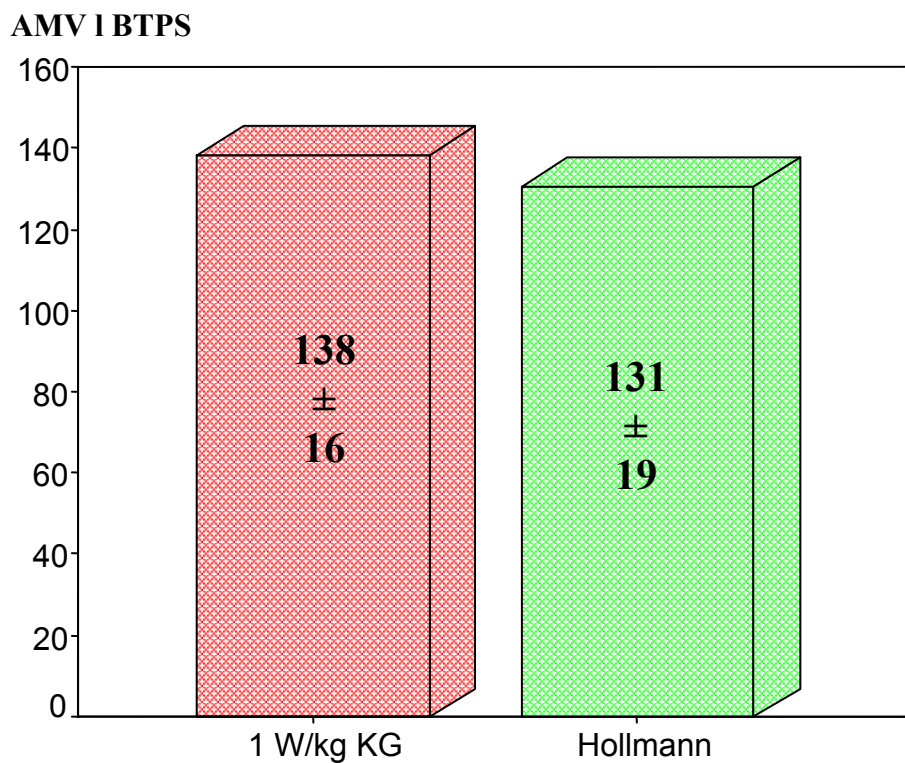
Maximales Atemminutenvolumen – Höhenttraining



Max. AMV l BTPS	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
\bar{x}	153	176
$\pm 1s$	14	13
n	8	8

Abb. 111: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Atemminutenvolumens (AMV l BTPS) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximales Atemminutenvolumen – Gruppe Athleten 2002



Max. AMV l BTPS	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	138	131
$\pm 1s$	16	19
n	9	9

Abb. 112: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Atemminutenvolumens (AMV l BTPS) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

4.3.2 Gesamt- und Mehrventilation

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtventilation** (**GE. $\dot{V}\dot{E}$. L 1 BTPS**), die **Mehr-Atmung in der Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}\dot{E}$. L 1 BTPS**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}\dot{E}$. 5E 1 BTPS**) der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 113 dargestellt.

An dieser Stelle soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die **Mehr-Atmung** in der Leistungsphase (**ME. $\dot{V}\text{E}$. L**) methodisch durch die **Differenz** zwischen der **Gesamt-Atmung** während der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** (**GE. $\dot{V}\text{E}$. L**) minus der auch sonst in dieser Belastungszeit notwendigen Ruhe-Atmung berechnet wird (durchschnittliches $\dot{V}\text{E}$ in Ruhe = Gewicht des Probanden in kg * Faktor 100).

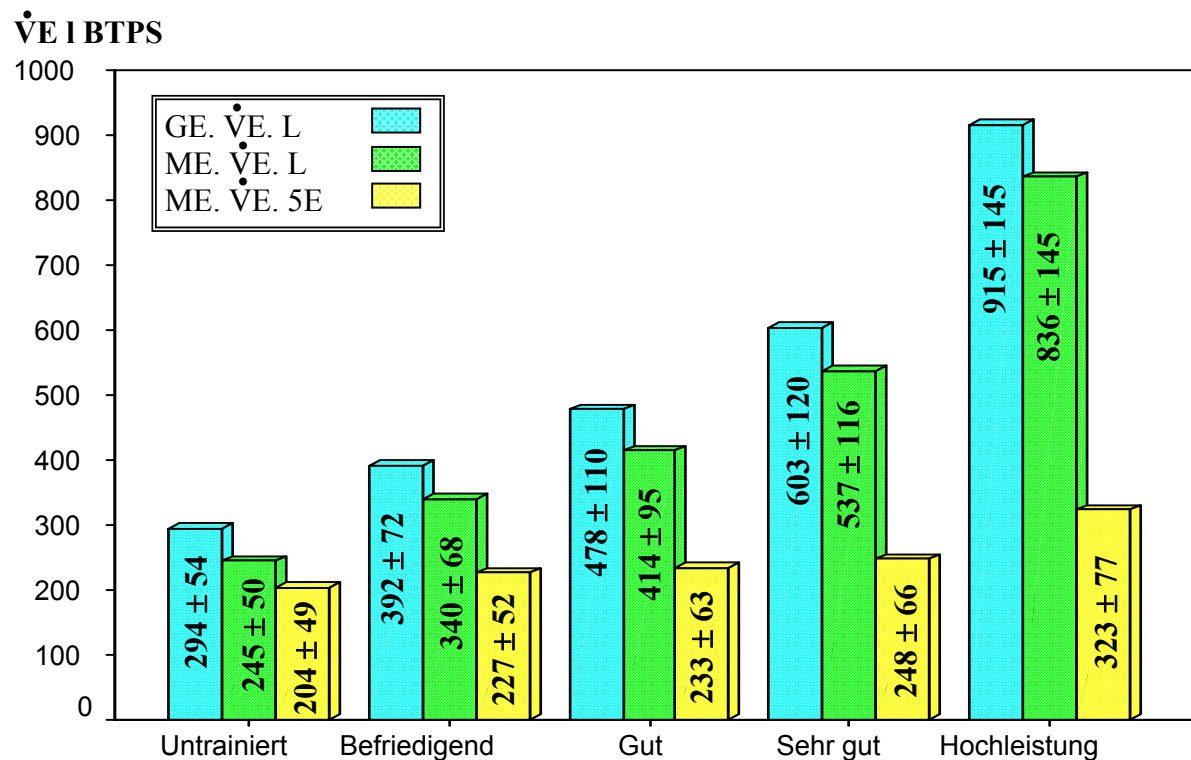
Die **Gesamtventilation** in der **Leistungsphase** beträgt bei der **untrainierten Gruppe** **294 ± 54 l BTPS**, der **befriedigend trainierten Gruppe** **392 ± 72 l BTPS**, der **gut trainierten Gruppe** **478 ± 110 l BTPS**, der **sehr gut trainierten Gruppe** **603 ± 120 l BTPS** und der **Hochleistungsgruppe** **915 ± 145 l BTPS**. Die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Gesamtventilation in der Leistungsphase sind der Tab. 30 zu entnehmen.

Tabelle 30: Gesamtventilation in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Gesamt- und Mehrventilation – Trainingszustand



Gruppe	n	GE. $\dot{V}E$. L l BTPS	ME. $\dot{V}E$. L l BTPS	ME. $\dot{V}E$. 5E l BTPS
Untrainiert	25	294 ± 54	245 ± 50	204 ± 49
Befriedigend trainiert	54	392 ± 72	340 ± 68	227 ± 52
Gut trainiert	85	478 ± 110	414 ± 95	233 ± 63
Sehr gut trainiert	72	603 ± 120	537 ± 116	248 ± 66
Hochleistung	9	915 ± 145	836 ± 145	323 ± 77

Abb. 113: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamt-Atmung (GE. $\dot{V}E$. L l BTPS), Mehr-Atmung in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}E$. L l BTPS) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}E$. 5E l BTPS) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

In der Leistungsphase beträgt die **Mehrventilation** bei der **untrainierten Gruppe** 245 ± 50 l BTPS, der **befriedigend trainierten Gruppe** 340 ± 68 l BTPS, der **gut trainierten Gruppe** 414 ± 95 l BTPS, der **sehr gut trainierten Gruppe** 537 ± 116 l BTPS und der **Hochleistungsgruppe** 836 ± 145 l BTPS.

Damit atmen die Sportler während ihrer erschöpfenden Spiroergometrie **95 l** (**befriedigend trainiert**) bis **591 l** (**Hochleistungsgruppe**) mehr ein als **gesunde untrainierte Männern** und bestätigen somit den Begriff “ **Sportlerlunge** “. Auch die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Mehrventilation in der Leistungsphase sind der Tab. 31 zu entnehmen.

Tabelle 31: Mehrventilation in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			95	***	169	***	292	***	591	***
Befriedigend					74	***	197	***	496	***
Gut							123	***	422	***
Sehr gut									299	***
Hochleistung										

Der Unterschied bei der **Mehr-Atmung** in der 5-minütigen Erholungsphase zwischen der **untrainierten Gruppe** mit 204 ± 49 l BTPS und der **gut trainierten Gruppe** mit 233 ± 63 l BTPS ist **signifikant** ($P \leq 0,05$). Zur **sehr gut trainierten Gruppe** ist die Differenz mit 248 ± 66 l BTPS **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zur **Hochleistungsgruppe** mit 323 ± 77 l BTPS **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$). Die Unterschiede zwischen allen anderen Gruppen sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Mehrventilation in der Erholungsphase sind der Tab. 32 zu entnehmen.

Tabelle 32: Mehrventilation in der Erholungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			23	ns	29	ns	44	**	119	***
Befriedigend					6	ns	21	ns	96	***
Gut							15	ns	90	***
Sehr gut									75	***
Hochleistung										

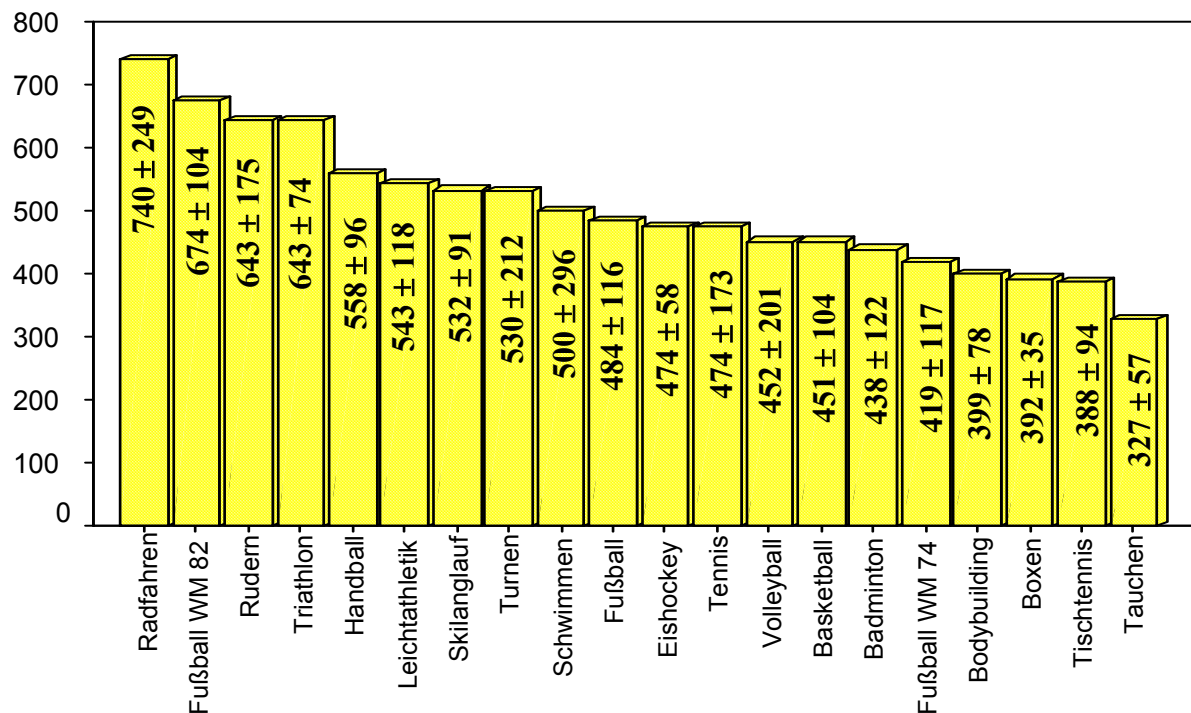
Die **Mittelwerte** und **Standardabweichungen** für die **Gesamtventilation in der Leistungsphase** (**GE. \dot{V}_E . L l BTPS**) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 114 dargestellt.

Die **Gesamtventilation** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Straßenradfahrern** mit **740 ± 249 l BTPS** am **größten** und bei den **Tauchern** mit **327 ± 57 l BTPS** am **niedrigsten**. Die Gesamt-Atmung der **Radfahrer** liegt im Vergleich zur Gruppe **Fußball WM 82** mit **674 ± 104 l BTPS**, zu den **Ruderern** mit **643 ± 175 l BTPS** und zu den **Triathleten** mit **643 ± 74 l BTPS** **nicht signifikant** (**P > 0,05**) höher, dagegen zu den **Handballspielern** mit **558 ± 96 l BTPS**, zu den **Schwimmern** mit **500 ± 296 l BTPS** und zu den **Turnern** mit **530 ± 212 l BTPS** **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**) und zu allen anderen Sportarten **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**) höher.

Die **Mittelwerte** und **Standardabweichungen** für die **Mehrventilation in der Leistungsphase** (**ME. \dot{V}_E . L l BTPS**) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 115 dargestellt.

Gesamtventilation in der Leistungsphase– Sportarten

GE. $\dot{V}E$. L I BTPS

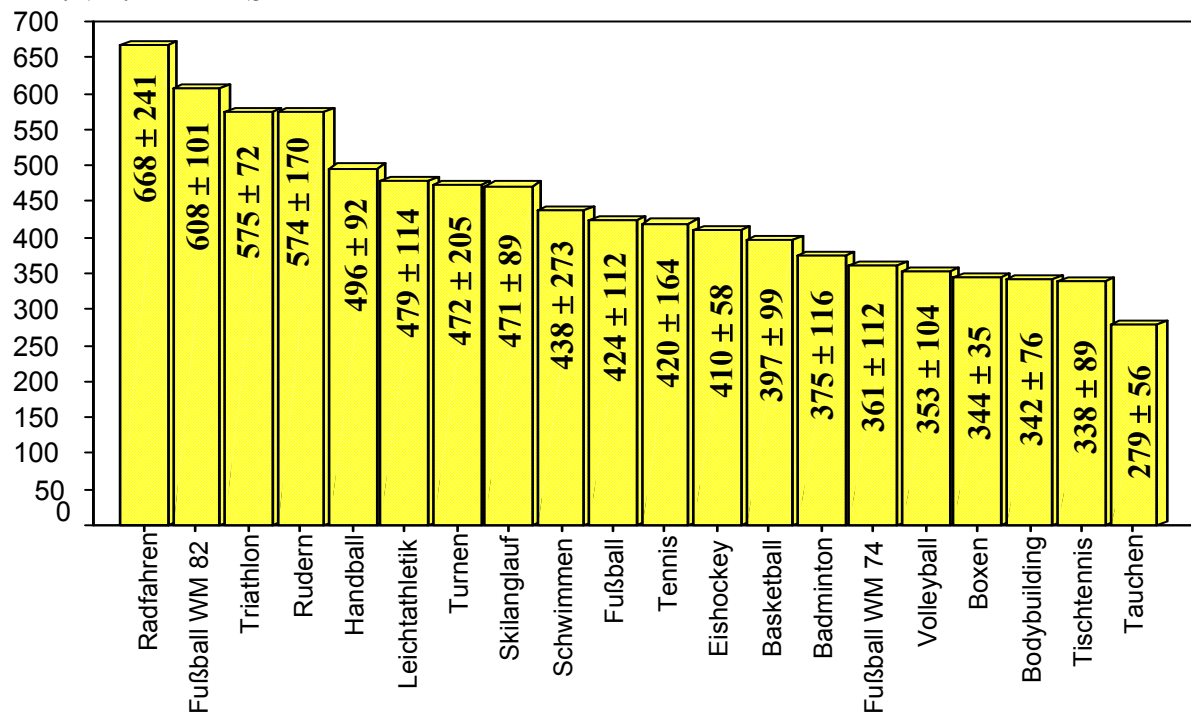


Sportart	GE. $\dot{V}E$. L I BTPS		Sportart	GE. $\dot{V}E$. L I BTPS	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	740 ± 249	Eishockey	10	474 ± 58
Fußball WM 82	15	674 ± 104	Tennis	10	474 ± 173
Rudern	10	643 ± 175	Volleyball	10	452 ± 201
Triathlon	6	643 ± 74	Basketball	16	451 ± 104
Handball	11	558 ± 96	Badminton	11	438 ± 122
Leichtathletik	17	543 ± 118	Fußball WM 74	23	419 ± 117
Skilanglauf	9	532 ± 91	Bodybuilding	7	399 ± 78
Turnen	8	530 ± 212	Boxen	5	392 ± 35
Schwimmen	5	500 ± 296	Tischtennis	12	388 ± 94
Fußball	21	484 ± 116	Tauchen	12	327 ± 57

Abb. 114: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtventilation in der Leistungsphase (GE. $\dot{V}E$. L I BTPS) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Mehrventilation in der Leistungsphase – Sportarten

ME. $\dot{V}E$. L I BTPS



Sportart	ME. $\dot{V}E$. L I BTPS		Sportart	ME. $\dot{V}E$. L I BTPS	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	668 ± 241	Tennis	10	420 ± 164
Fußball WM 82	15	608 ± 101	Eishockey	10	410 ± 58
Triathlon	6	575 ± 72	Basketball	16	397 ± 99
Rudern	10	574 ± 170	Badminton	11	375 ± 116
Handball	11	496 ± 92	Fußball WM 74	23	361 ± 112
Leichtathletik	17	479 ± 114	Volleyball	10	353 ± 104
Turnen	8	472 ± 205	Boxen	5	344 ± 35
Skilanglauf	9	471 ± 89	Bodybuilding	7	342 ± 76
Schwimmen	5	438 ± 273	Tischtennis	12	338 ± 89
Fußball	21	424 ± 112	Tauchen	12	279 ± 56

Abb. 115: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mehrventilation in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}E$. L I BTPS) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrventilation** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Straßenradfahrern** mit 668 ± 241 l BTPS am **größten** und bei den **Tauchern** mit 279 ± 56 l BTPS am **niedrigsten**. Die **Mehratmung** der **Radfahrer** ist im Vergleich zur Gruppe **Fußball WM 82** mit 608 ± 101 l BTPS, zu den **Ruderern** mit 574 ± 170 l BTPS und zu den **Triathleten** mit 575 ± 72 l BTPS **nicht signifikant** ($P > 0,05$) höher, dagegen zu den **Handballspielern** mit 496 ± 92 l BTPS **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zu allen anderen Sportarten **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) höher.

Die **Mittelwerte** und **Standardabweichungen** für die **Mehrventilation** (**ME. \dot{V}_E . 5E** l BTPS) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** nach **5 Minuten Erholung** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **Giessener 1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 116 dargestellt.

Die **Mehrventilation** nach **5 Minuten Erholung** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Handballspielern** mit 298 ± 70 l BTPS am **größten** und bei den **Skilangläufern** mit 203 ± 42 l BTPS am **niedrigsten**. Die **ME. \dot{V}_E . 5E** beim **Handball** ist im Vergleich zum **Basketball** mit 242 ± 64 l BTPS, zum **Boxen** mit 223 ± 22 l BTPS, zum **Eishockey** mit 233 ± 37 l BTPS, zur **Leichtathletik** mit 247 ± 66 l BTPS, zu den **Schwimmern** mit 230 ± 94 l BTPS und zu den **Turnern** mit 241 ± 73 l BTPS **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer.

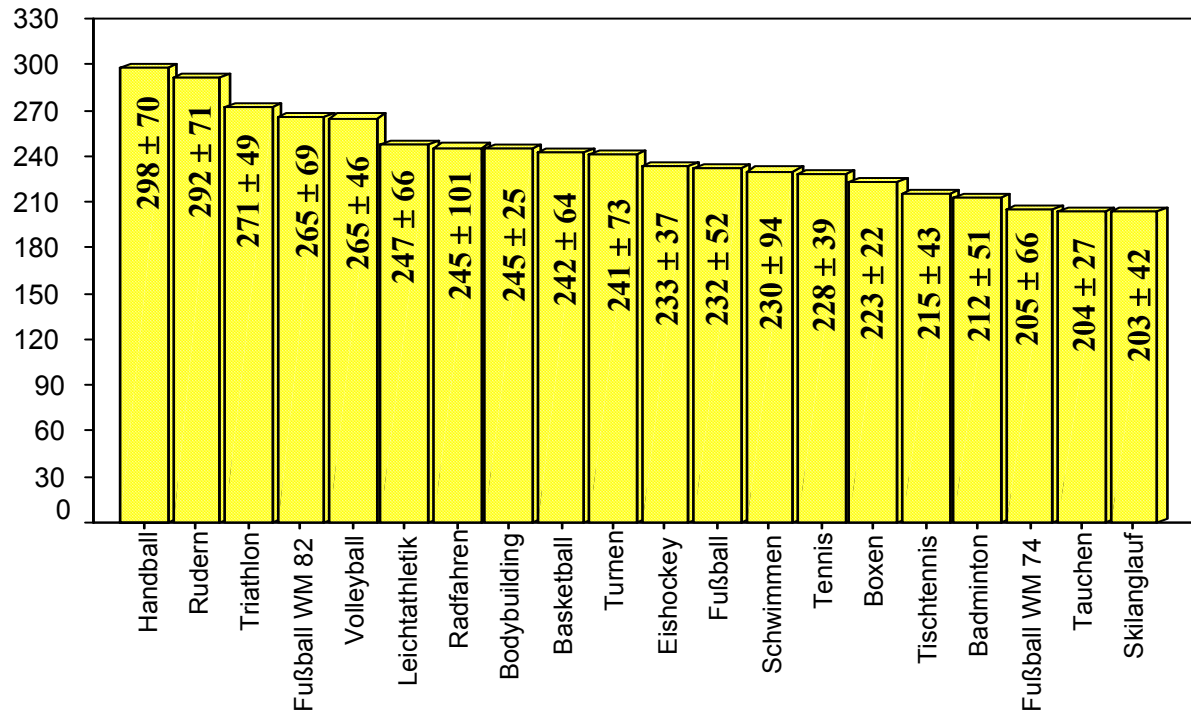
Die Mehr-Atmung der $82,7 \pm 10,4$ kg schweren **Handballspieler** in den 5 Erholungsminuten nach der erschöpfenden Spiroergometrie ist im Vergleich zu der leichteren **Fußball-Gruppe** ($73,8 \pm 8,3$ kg) mit 232 ± 52 l BTPS und zu den **Tennispielern** ($74,4 \pm 6,6$ kg) mit 228 ± 39 l BTPS **sehr signifikant größer** ($P \leq 0,01$).

Hoch signifikant niedriger ($P \leq 0,001$) ist die **ME. \dot{V}_E . 5E** der Gruppen **Badminton** mit 212 ± 51 l BTPS, **Fußball WM 74** mit 205 ± 66 l BTPS, **Skilanglauf** mit 203 ± 42 l BTPS, **Tauchen** mit 204 ± 27 l BTPS und **Tischtennis** mit 215 ± 43 l BTPS im Vergleich zur Sportart **Handball**.

Die Unterschiede zu den anderen Sportarten nach den Angaben der Wertetabelle (Abb. 116) sind im Vergleich zum **Handball nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Mehrventilation in der Erholungsphase – Sportarten

ME. $\dot{V}E$. 5E | BTPS

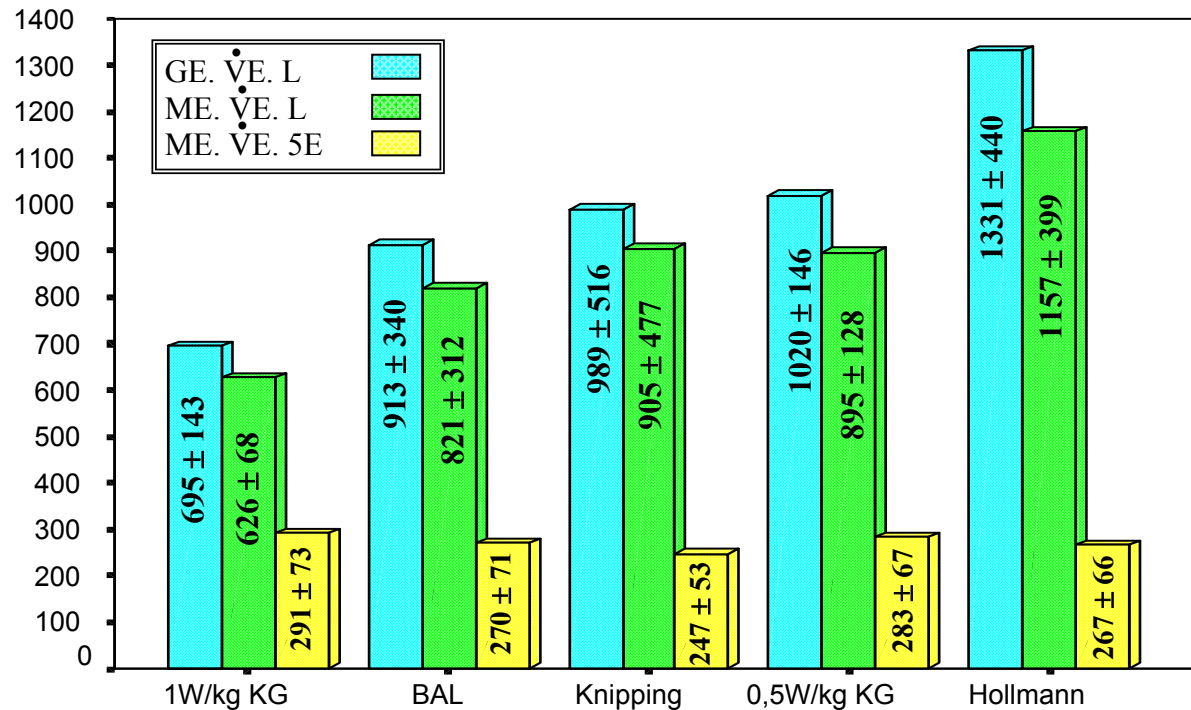


Sportart	ME. $\dot{V}E$. 5E BTPS		Sportart	ME. $\dot{V}E$. 5E BTPS	
	n	M ± s		n	M ± s
Handball	11	298 ± 70	Eishockey	10	233 ± 37
Rudern	10	292 ± 71	Fußball	21	232 ± 52
Triathlon	6	271 ± 49	Schwimmen	5	230 ± 94
Fußball WM 82	15	265 ± 69	Tennis	10	228 ± 39
Volleyball	10	265 ± 46	Boxen	5	223 ± 22
Leichtathletik	17	247 ± 66	Tischtennis	12	215 ± 43
Radfahren	9	245 ± 101	Badminton	11	212 ± 51
Bodybuilding	7	245 ± 25	Fußball WM 74	23	205 ± 66
Basketball	16	242 ± 64	Tauchen	12	204 ± 27
Turnen	8	241 ± 73	Skilanglauf	9	203 ± 42

Abb. 116: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mehrventilation (ME. $\dot{V}E$. 5E | BTPS) der Probanden von verschiedenen Sportarten nach 5 Minuten Erholung bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamt- und Mehrventilation – Belastungsmethoden

\dot{V}_E l BTPS



Methode	n	GE. \dot{V}_E . L l BTPS	ME. \dot{V}_E . L l BTPS	ME. \dot{V}_E . 5E l BTPS
1 W/kg KG	6	695 ± 143	626 ± 68	291 ± 73
BAL	6	913 ± 340	821 ± 312	270 ± 71
Knipping	6	989 ± 516	905 ± 477	247 ± 53
0,5 W/kg KG	6	1020 ± 146	895 ± 128	283 ± 67
Hollmann	6	1331 ± 440	1157 ± 399	267 ± 66

Abb. 117: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamt-Atmung (GE. \dot{V}_E . L l BTPS), Mehr-Atmung (ME. \dot{V}_E . L l BTPS) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. \dot{V}_E . 5E l BTPS) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrventilation** in der **Leistungsphase** (**ME. VE. L I BTPS**) bei dem **Hollmann-Verfahren** ist mit **1157 ± 399 l BTPS** am **größten**. Mit der **1 W/kg KG-Methode** registrieren wir den **niedrigsten** Wert mit **626 ± 68 l BTPS**.

Die Mehr-Atmung beim **Hollmann-Verfahren** ist im Vergleich zur **1 W/kg KG-Methode** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$). Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind bei der Mehrventilation **nicht signifikant** ($P > 0,05$). Sie sind der Tab. 34 zu entnehmen.

Tabelle 34: Mehrventilation in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

[illegible]

In den **5 Minuten Erholung** ist die **Mehr-Atmung** bei der **1 W/kg KG-Methode** mit **291 ± 73 l BTPS** am **größten**. Bei dem **Knipping-Verfahren** wird mit **247 ± 53 l BTPS** von den Athleten am **wenigsten** über die normale Ruheatmung ventiliert.

Die Unterschiede zwischen allen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab. 35 zu entnehmen.

Tabelle 35: Mehrventilation in der Erholungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

[illegible]

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamt-Atmung** (**GE. $\dot{V}E$. L l BTPS**), die **Mehr-Atmung in der Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}E$. L l BTPS**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}E$. 5E l BTPS**) der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 118 dargestellt.

Die **Gesamtventilation** in der **Leistungsphase** beträgt **vor dem Höhenttraining** **956 ± 110 l BTPS** und **danach** **1162 ± 111 l BTPS**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **206 l BTPS** ist **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**).

Die Mehrventilation in der **Leistungsphase** beträgt **vor dem Höhenttraining** **859 ± 108 l BTPS** und **nach dem Höhenttraining** **1057 ± 110 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **198 l BTPS** ist ebenfalls **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**).

In der Erholungsphase beträgt die Mehrventilation **vor dem Höhenttraining** **276 ± 16 l BTPS** und **nach dem Höhenttraining** **346 ± 60 l BTPS**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **70 l BTPS** ist **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**).

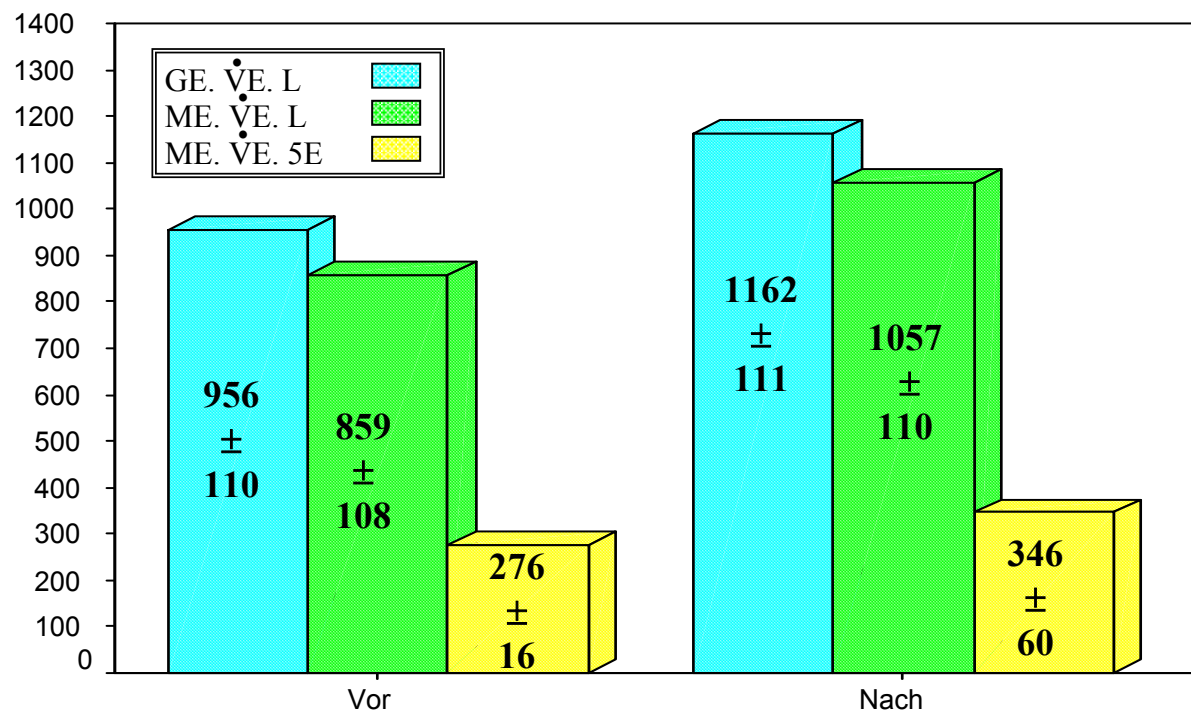
Die **Ruderer** können somit während und nach einer erschöpfenden Spiroergometrie (**Rudermethode**) nach dem **Hypoxie-Training** ihre Lungen **signifikant** höher belasten.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamt-Atmung** (**GE. $\dot{V}E$. L l BTPS**), die **Mehr-Atmung in der Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}E$. L l BTPS**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}E$. 5E l BTPS**) der **sehr gut trainierten Probanden** - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 119 dargestellt.

In der **Leistungsphase** beträgt die **Gesamtventilation** bei der **1 W/kg KG-Methode** **679 ± 124 l BTPS** und beim **Hollmann-Verfahren** **1478 ± 251 l BTPS**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **799 l BTPS** ist **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**).

Gesamt- und Mehrventilation – Höhenttraining

$\dot{V}E$ l BTPS

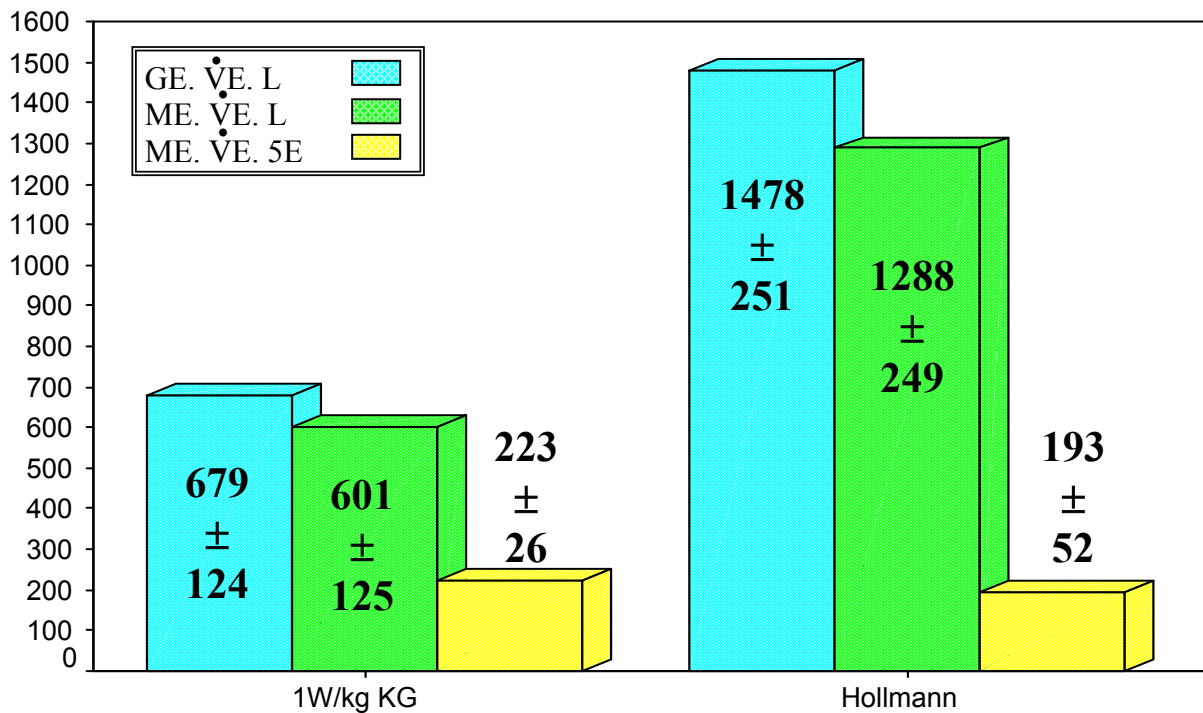


$\dot{V}E$ l BTPS	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
GE. $\dot{V}E$. L	956 ± 110	1162 ± 111
ME. $\dot{V}E$. L	859 ± 108	1057 ± 110
ME. $\dot{V}E$. 5E	276 ± 16	346 ± 60
n	8	8

Abb. 118: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamt-Atmung (GE. $\dot{V}E$. L l BTPS), Mehr-Atmung (ME. $\dot{V}E$. L l BTPS) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}E$. 5E l BTPS) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamt- und Mehrventilation – Gruppe Athleten 2002

$\dot{V}E$ l BTPS



$\dot{V}E$ l BTPS	1 W/kg KG	Hollmann
GE. $\dot{V}E$. L	679 ± 124	1478 ± 251
ME. $\dot{V}E$. L	601 ± 125	1288 ± 249
ME. $\dot{V}E$. 5E	223 ± 26	193 ± 52
n	9	9

Abb. 119: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamt-Atmung (GE. $\dot{V}E$. L l BTPS), Mehr-Atmung (ME. $\dot{V}E$. L l BTPS) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}E$. 5E l BTPS) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die Mehrventilation in der **Leistungsphase** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** 601 ± 125 l BTPS und bei dem **Hollmann-Verfahren** 1288 ± 249 l BTPS. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit 687 l BTPS ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die Mehrventilation in der **Erholungsphase** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** 223 ± 26 l BTPS und bei dem **Hollmann-Verfahren** 193 ± 52 l BTPS. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und der **geringeren Ventilation** in den 5 Erholungsminuten beim **Hollmann-Verfahren** mit 30 l BTPS ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Aeroben und Anaeroben Anteil** der **Gesamtventilation** (**Aerob vs. Anaerob. GE. $\dot{V}E$. L** l BTPS) der Probanden von den **untrainierten gesunden Männern** über die unterschiedlich **trainierten Sportler** bis zu den **Athleten** aus dem **Hochleistungsbereich** bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 120 dargestellt.

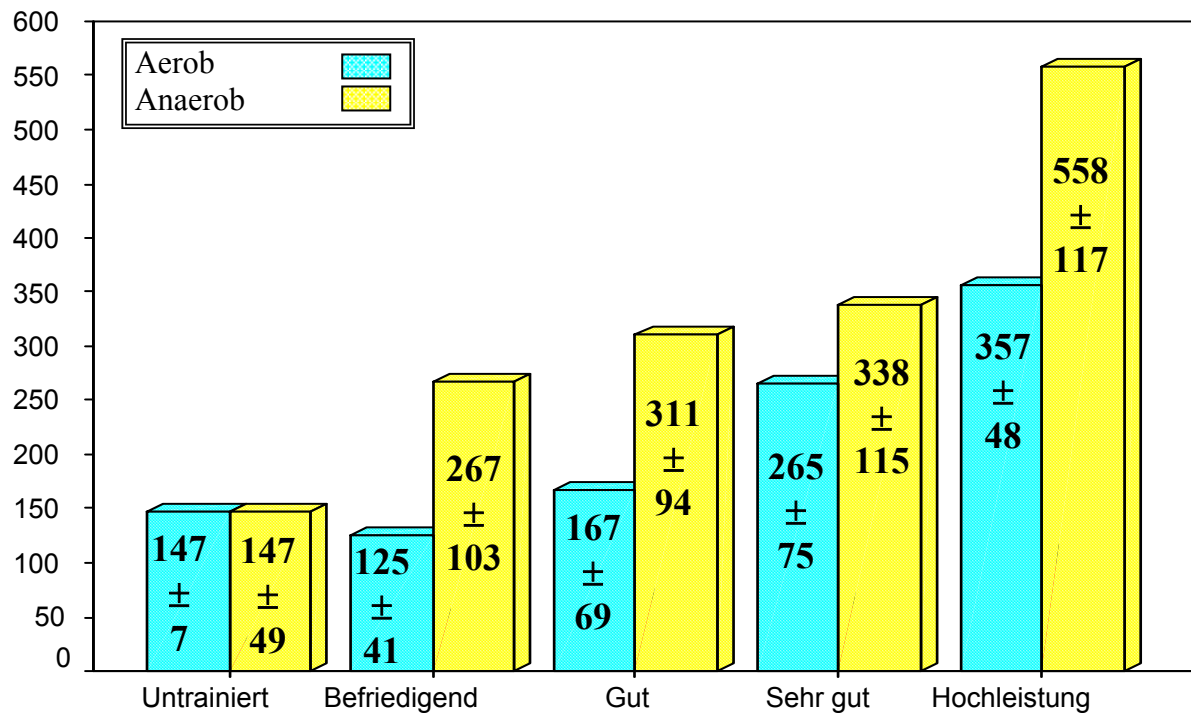
Der **Aerobe Anteil** (**Aerob. GE. $\dot{V}E$. L** l BTPS) bei der **sehr gut trainierten Gruppe** mit 265 ± 75 l BTPS ist im Vergleich zu der **befriedigend trainierten Gruppe** mit 125 ± 41 l BTPS **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer, im Vergleich zur **gut trainierten Gruppe** mit 167 ± 69 l BTPS dagegen **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) größer.

Die Ventilation der **Hochleistungsgruppe** ist im Aeroben Bereich der erschöpfenden Spiroergometrie mit 357 ± 48 l BTPS im Vergleich zu den **Untrainierten** mit 147 ± 7 l BTPS **signifikant** ($P \leq 0,05$), zur **befriedigend trainierten Gruppe** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) und zur **gut trainierten Gruppe** **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) größer.

Die Unterschiede zwischen allen anderen Gruppen bei dem Aeroben Anteil der Gesamtventilation sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab. 36 zu entnehmen.

Aerob vs. Anaerob der Gesamtventilation – Trainingszustand

Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L I BTPS



Gruppe	n	Aerober Anteil l BTPS	Anaerober Anteil l BTPS
Untrainiert	25	147 ± 7 (50,0%)	147 ± 49 (50,0%)
Befriedigend trainiert	54	125 ± 41 (31,9%)	267 ± 103 (68,1%)
Gut trainiert	85	167 ± 69 (34,9%)	311 ± 94 (65,1%)
Sehr gut trainiert	72	265 ± 75 (43,9%)	338 ± 115 (56,1%)
Hochleistung	9	357 ± 48 (39,0%)	558 ± 117 (61,0%)

Abb. 120: Mittelwerte und Standardabweichungen des Aeroben und Anaeroben Anteils der Gesamtventilation in der Leistungsphase (Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L I BTPS) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

[illegible]

Die Unterschiede zwischen allen anderen Gruppen sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab. 37 zu entnehmen.

[illegible]

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Aeroben und Anaeroben Anteil** der **Gesamtventilation** (**Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L l BTPS**) der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 121 dargestellt.

Der **Aerobe Anteil** der **Gesamtventilation** in der Leistungsphase (**Aerob GE. $\dot{V}E$. L l BTPS**) ist bei dem **Hollmann-Verfahren** mit **551 \pm 217 l BTPS** am größten. Im Vergleich zur **0,5 W/kg KG-Methode** mit **289 \pm 94 l BTPS**, zur **1 W/kg KG-Methode** mit **243 \pm 70 l BTPS**, zum **BAL-Verfahren** mit **202 \pm 57 l BTPS** und zum **Knipping-Verfahren** mit **112 \pm 61 l BTPS** ist die **Gesamtventilation** des **Hollmann-Verfahrens** in der aeroben Leistungsphase (**Laktat < 4 mmol/l**) **hoch signifikant** (**P \leq 0,001**) größer.

In der aeroben **Leistungsphase** ist der **Aerobe Anteil** der **Gesamtventilation** bei der **0,5 W/kg KG-Methode** im Vergleich zum **Knipping-Verfahren** signifikant (**P > 0,05**) größer.

Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** (**P > 0,05**) und der Tab. 38 zu entnehmen.

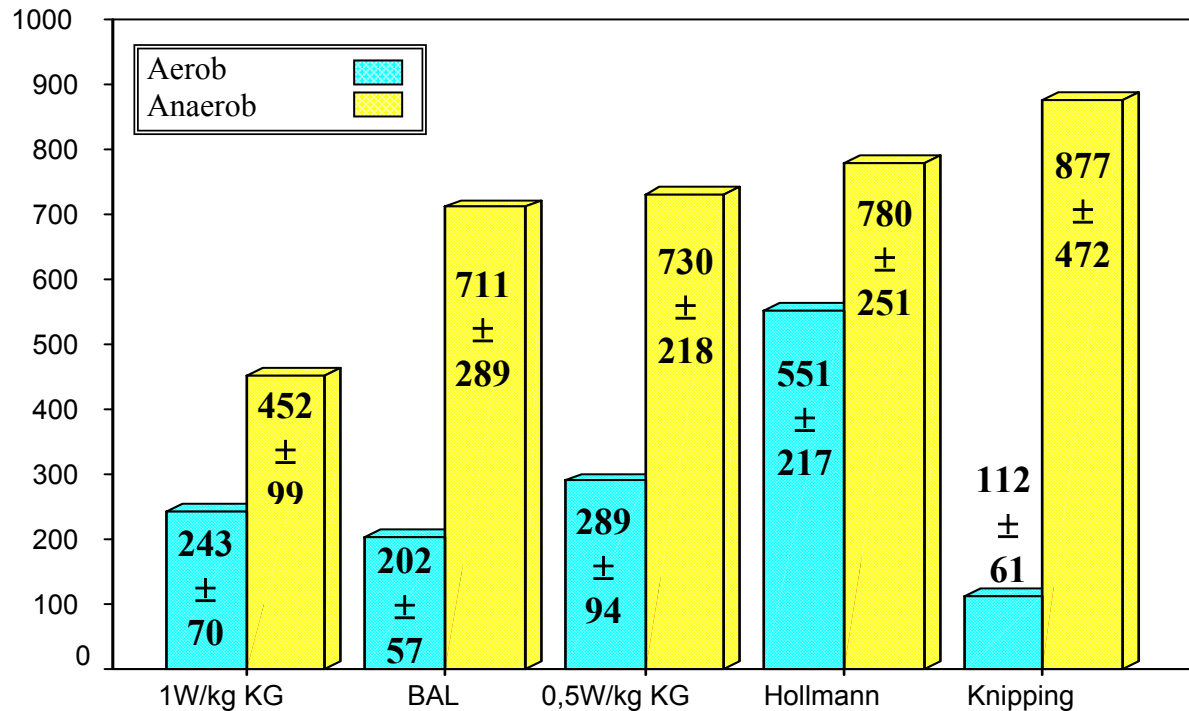
Tabelle 38: Aerober Anteil der Gesamtventilation - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	1 W/kg KG		BAL		0,5 W/kg KG		Hollmann		Knipping	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
1 W/kg KG			41	ns	46	ns	131	ns	308	***
BAL					87	ns	90	ns	349	***
0,5 W/kg KG							177	*	262	***
Hollmann									439	***
Knipping										

Mit dem **Knipping-Verfahren** müssen die Athleten **88,7%** ihrer **Gesamtventilation** während der spiroergometrischen Leistungsphase im Anaeroben Bereich, d. h. bei **Laktatwerten** über 4 mmol/l, aufbringen.

Aerob vs. Anaerob der Gesamtventilation – Belastungsmethoden

Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L I BTPS



Methode	n	Aerober Anteil l BTPS	Anaerober Anteil l BTPS
1 W/kg KG	6	243 ± 70 (35,0%)	452 ± 99 (65,0%)
BAL	6	202 ± 57 (22,1%)	711 ± 289(77,9%)
0,5 W/kg KG	6	289 ± 94 (28,3%)	731 ± 218 (71,7%)
Hollmann	6	551 ± 217 (41,4%)	780 ± 251 (58,6%)
Knipping	6	112 ± 61 (11,3%)	877 ± 472 (88,7%)

Abb. 121: Mittelwerte und Standardabweichungen des Aeroben und Anaeroben Anteils der Gesamtventilation in der Leistungsphase (Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L I BTPS) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Der **Anaerobe Anteil** der **Gesamtventilation** in der Leistungsphase (**Anaerob GE. $\dot{V}E$. L l BTPS**) ist bei dem **Knipping-Verfahren** mit 877 ± 472 l BTPS am größten. Im Vergleich zur **1 W/kg KG-Methode** mit 452 ± 99 l BTPS ist die **Gesamtventilation** des **Knipping - Verfahrens** in der anaeroben Leistungsphase **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer.

Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab. 39 zu entnehmen.

Tabelle 39: Anaerober Anteil der Gesamtventilation - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	1 W/kg KG		BAL		0,5 W/kg KG		Hollmann		Knipping	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
1 W/kg KG			259	ns	278	ns	328	ns	425	*
BAL					19	ns	69	ns	166	ns
0,5 W/kg KG							50	ns	147	ns
Hollmann									97	ns
Knipping										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Aeroben und Anaeroben Anteil** der **Gesamtventilation** (**Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L l BTPS**) der **sehr gut trainierten Probanden - Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 122 dargestellt.

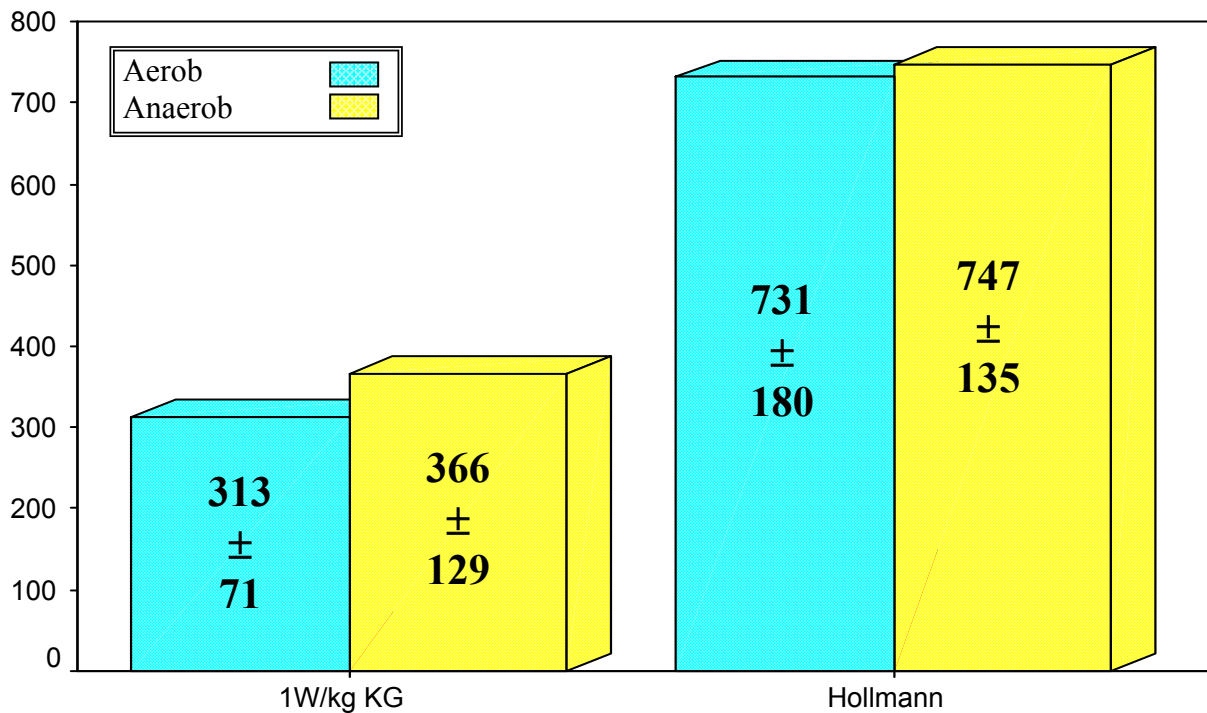
Aerob können von der **Gesamtventilation** in der Leistungsphase bei der **1 W/kg KG-Methode** 313 ± 71 l BTPS, entsprechend **46,1%**, ventiliert werden. Beim **Hollmann-Verfahren** sind dies 731 ± 180 l BTPS, d. h., **49,5%** der **Gesamtventilation** während der Leistung werden von den Athleten unterhalb der 4 mmol/l **Laktatschwelle** geatmet.

Der **prozentuale Anteil** ist beim **Hollmann-Verfahren** mit **3,4%** nur gering größer. Absolut beträgt der Unterschied aber **418 l BTPS**, er ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Der **Anaerobe Anteil** an der **Gesamtventilation** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** 366 ± 129 l BTPS, entsprechend **53,9%**. Beim **Hollmann-Verfahren** sind es **50,5%** und absolut 747 ± 135 l BTPS. Auch hier ist die **anaerobe Gesamt-Atmung** bei der **Kölner Methode** mit absolut **381 l BTPS hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) größer.

Aerob vs. Anaerob der Gesamtventilation – Gruppe Athleten 2002

Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L I BTPS

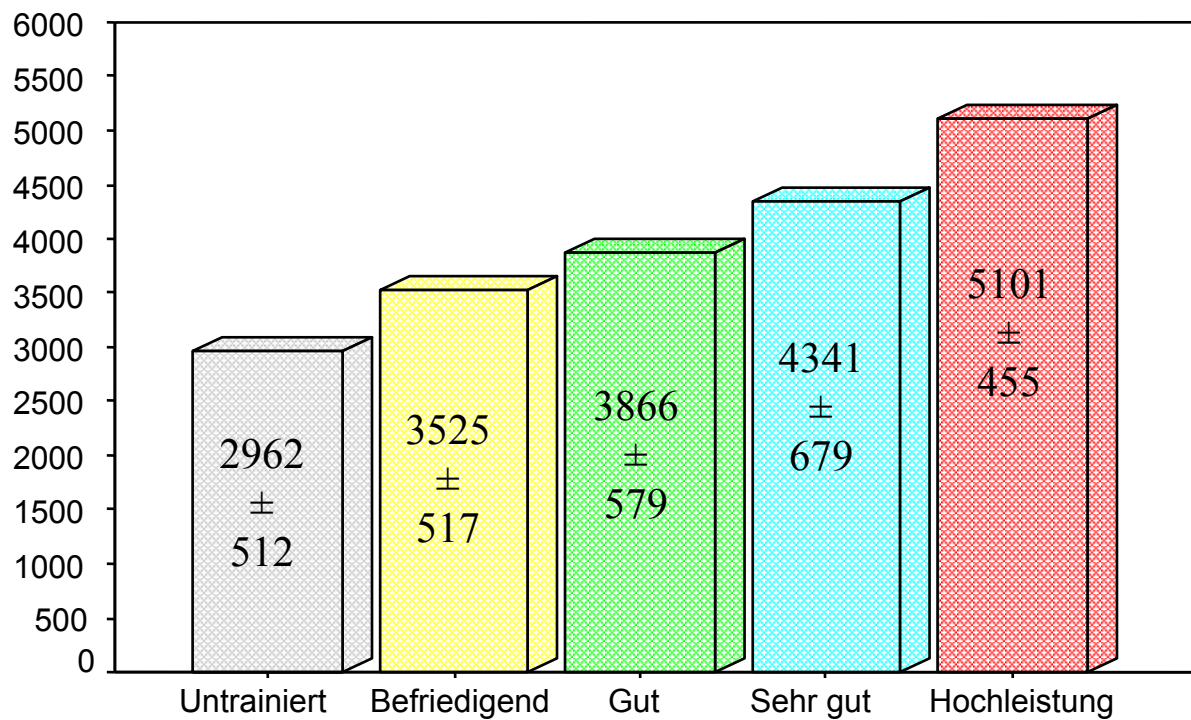


Methode	n	Aerober Anteil l BTPS	Anaerober Anteil l BTPS
1 W/kg KG	9	313 ± 71 (46,1%)	366 ± 129 (53,9%)
Hollmann	9	731 ± 180 (49,5%)	747 ± 135 (50,5%)

Abb. 122: Mittelwerte und Standardabweichungen des Aeroben und Anaeroben Anteils der Gesamtventilation in der Leistungsphase (Aerob vs. Anaerob GE. $\dot{V}E$. L I BTPS) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale Sauerstoffaufnahme – Trainingszustand

$\dot{V}O_2$ ml \cdot min⁻¹ STPD



Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot min ⁻¹ STPD	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	2962	3525	3866	4341	5101
$\pm 1s$	512	517	579	679	455
n	25	54	85	72	9

Abb. 123: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot min⁻¹ STPD) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Maximale Sauerstoffaufnahme** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 124 dargestellt.

Die **Maximale Sauerstoffaufnahme** ist bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** bei der Gruppe **Fußball WM 82** mit **4747 ± 428 ml STPD** am **höchsten** und bei den **Tauchern** mit **2904 ± 294 ml STPD** am **niedrigsten**.

Die **Maximale Sauerstoffaufnahme** der **Deutschen Fußballnationalmannschaft – Vize-Weltmeister 1982** – ist im Vergleich zu den Sportarten der von uns untersuchten Gruppen **Badminton, Basketball, Bodybuilding, Boxen, Eishockey, Fußball, Fußball WM 74, Skilanglauf, Tauchen, Tischtennis und Volleyball** **hoch signifikant ($P \leq 0,001$)** größer.

Die Unterschiede zu den **Radfahrern** mit **367 ml STPD**, zu den **Ruderern** mit **270 ml STPD**, zu den **Handballspielern** mit **313 ml STPD** und zu den **Triathleten** mit **467 ml STPD** sind **nicht signifikant ($P > 0,05$)**, dagegen zu den **Schwimmern** mit **739 ml STPD** und zu den **Turnern** mit **663 ml STPD** **signifikant ($P \leq 0,05$)**.

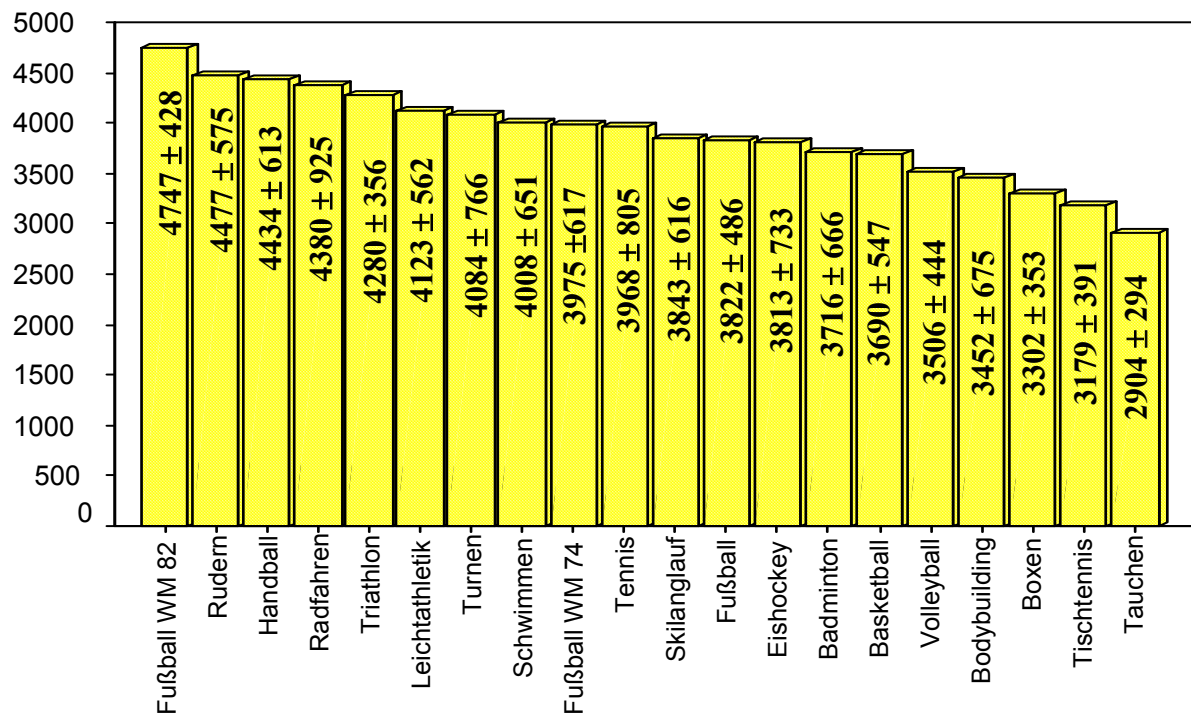
Die **$\dot{V}O_2$ max** der **Fußballspieler WM 82** mit **4747 ml STPD** ist im Vergleich zu den **Leichtathleten** durchschnittlich **624 ml STPD** und zu den **Tennisspielern** **779 ml STPD** größer. Diese Unterschiede sind **sehr signifikant ($P \leq 0,01$)**.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Maximale Sauerstoffaufnahme** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 125 dargestellt.

Die mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichte **Maximale Sauerstoffaufnahme** ist mit **4566 ± 723 ml STPD** am **größten**. Mit dem **Knipping-Verfahren** erzielen die sehr gut trainierten Probanden die **niedrigste Maximale Sauerstoffaufnahme** mit **4282 ± 876 ml STPD**. Die geringen Unterschiede zwischen allen Methoden sind aber **nicht signifikant ($P > 0,05$)** und der Tab. 41 zu entnehmen.

Maximale Sauerstoffaufnahme – Sportarten

$\dot{V}O_2$ ml \cdot min⁻¹ STPD

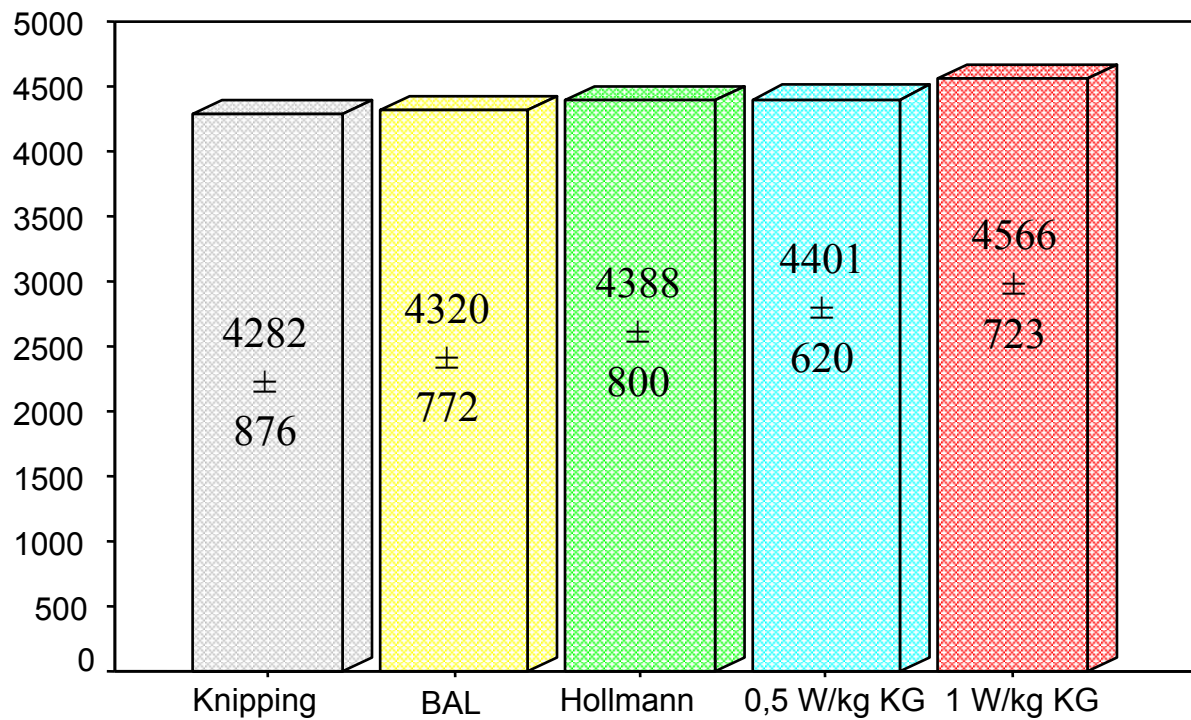


Sportart	Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot min ⁻¹ STPD		Sportart	Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot min ⁻¹ STPD	
	n	M \pm s		n	M \pm s
Fußball WM 82	15	4747 \pm 428	Skilanglauf	9	3843 \pm 616
Rudern	10	4477 \pm 575	Fußball	21	3822 \pm 486
Handball	11	4434 \pm 613	Eishockey	10	3813 \pm 733
Radfahren	9	4380 \pm 925	Badminton	11	3716 \pm 666
Triathlon	12	4280 \pm 356	Basketball	16	3690 \pm 547
Leichtathletik	17	4123 \pm 562	Volleyball	10	3506 \pm 444
Turnen	8	4084 \pm 766	Bodybuilding	7	3452 \pm 675
Schwimmen	5	4008 \pm 651	Boxen	5	3302 \pm 353
Fußball WM 74	23	3975 \pm 617	Tischtennis	12	3179 \pm 391
Tennis	10	3968 \pm 805	Tauchen	12	2904 \pm 294

Abb. 124: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot min⁻¹ STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale Sauerstoffaufnahme – Belastungsmethoden

$\dot{V}O_2$ ml \cdot min⁻¹ STPD



Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot min ⁻¹ STPD	Knipping	BAL	Hollmann	0,5 W/kg KG	1 W/kg KG
\bar{x}	4282	4320	4388	4401	4566
$\pm 1s$	876	772	800	620	723
n	6	6	6	6	6

Abb. 125: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot min⁻¹ STPD) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 41: Maximale Sauerstoffaufnahme - Differenzen mit Signifikanzen zwischen 5 ergometrischen Methoden

Methode	Knipping		BAL		Hollmann		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			38	ns	106	ns	119	ns	284	ns
BAL					68	ns	81	ns	246	ns
Hollmann							13	ns	178	ns
0,5 W/kg KG									165	ns
1 W/kg KG										

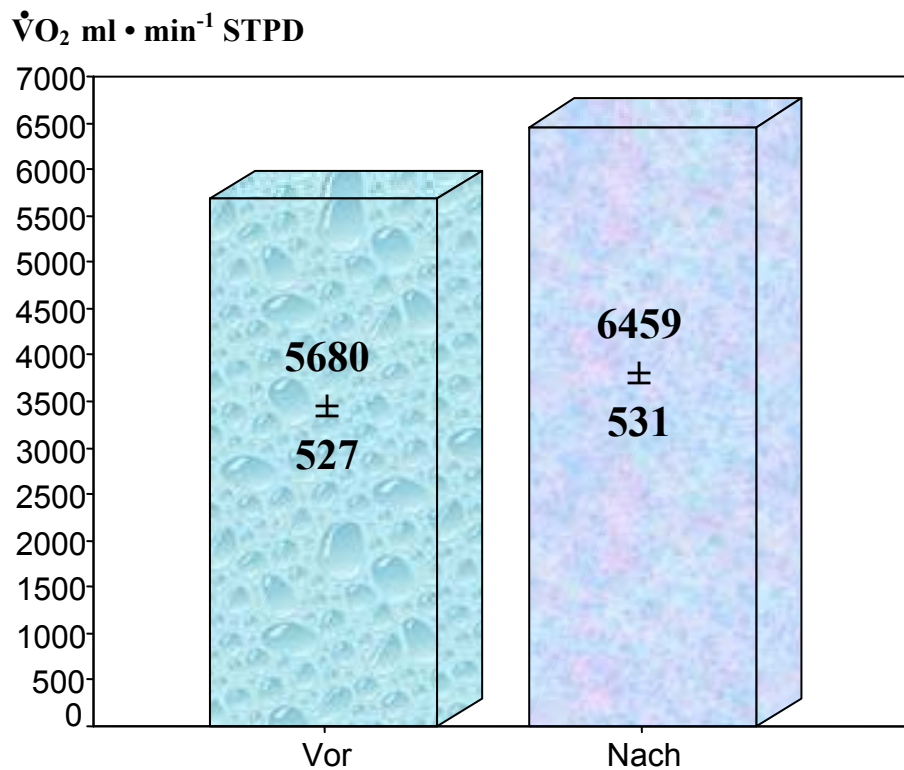
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Maximale Sauerstoffaufnahme** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 126 dargestellt.

Die **Maximale Sauerstoffaufnahme vor dem Höhenttraining** beträgt 5680 ± 527 ml STPD und **nach dem Höhenttraining** 6459 ± 531 ml STPD. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit 779 ml STPD ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Maximale Sauerstoffaufnahme** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 127 dargestellt.

Die **Maximale Sauerstoffaufnahme** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** 4548 ± 527 ml STPD und bei dem **Hollmann-Verfahren** 3808 ± 599 ml STPD. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit 740 ml STPD ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

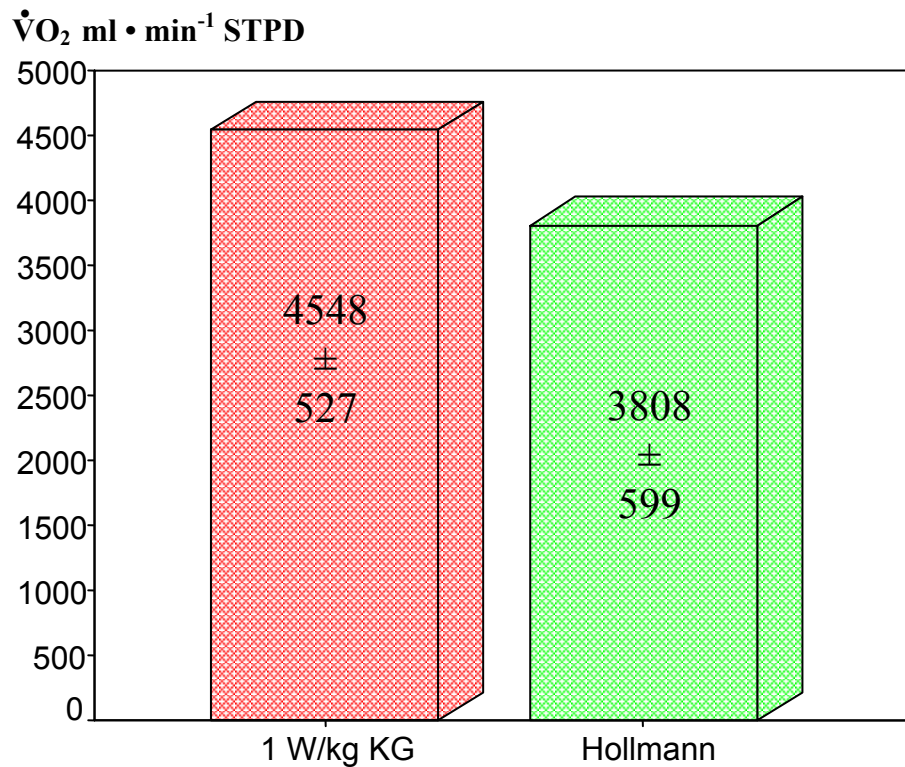
Maximale Sauerstoffaufnahme – Höhenttraining



Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot min ⁻¹ STPD	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
\bar{x}	5680	6459
$\pm 1s$	527	531
n	8	8

Abb. 126: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot min⁻¹ STPD) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale Sauerstoffaufnahme – Gruppe Athleten 2002

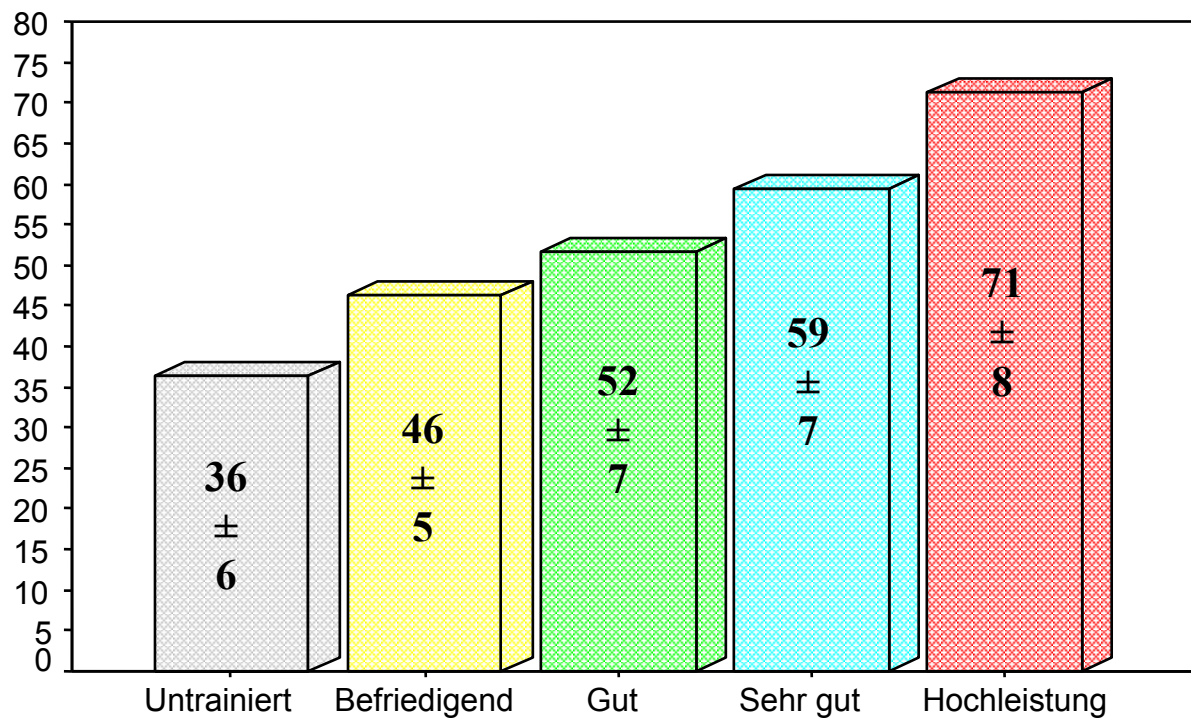


Max. $\dot{V}O_2$ ml • min ⁻¹ STPD	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	4548	3808
$\pm 1s$	527	599
n	9	9

Abb. 127: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml • min⁻¹ STPD) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale relative Sauerstoffaufnahme – Trainingszustand

$\dot{V}O_2$ ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD



Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	36	46	52	59	71
$\pm 1s$	6	5	7	7	8
n	25	54	85	72	9

Abb. 128: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 129 dargestellt.

Die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** ist bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** bei den **Radfahrern** mit $63 \pm 14 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ der **größte Wert** und bei den **Tauchern** mit $38 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ der **niedrigste Wert**.

Die größere Maximale relative Sauerstoffaufnahme der Radfahrer im Vergleich zu den Gruppen **Fußball WM 82** mit **3 ml**, **Ruderern** mit **4 ml**, **Triathleten** mit **6 ml**, **Skilangläufern** mit **7 ml** und zu den **Turnern** mit **8 ml** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die höheren Werte der $\dot{V}O_2 \text{ max}$ $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ der **Straßenradfahrer** im Vergleich zu den **Handballspielern** mit **9 ml** und zu den **Leichtathleten** mit **8 ml** sind **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Dagegen ist der Vergleich mit der Gruppe **Fußball WM 74** mit **10 ml**, den **Tennisspielern** mit **10 ml** und mit den **Boxern**, die **15 ml** weniger aufnahmen, schon **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

Zu allen anderen von uns untersuchten Sportarten (siehe Abb. 129) haben die relativ leichten **Straßenradfahrer** (**69,9 kg**) eine hoch signifikant höhere ($P \leq 0,001$) **Maximale relative Sauerstoffaufnahme**.

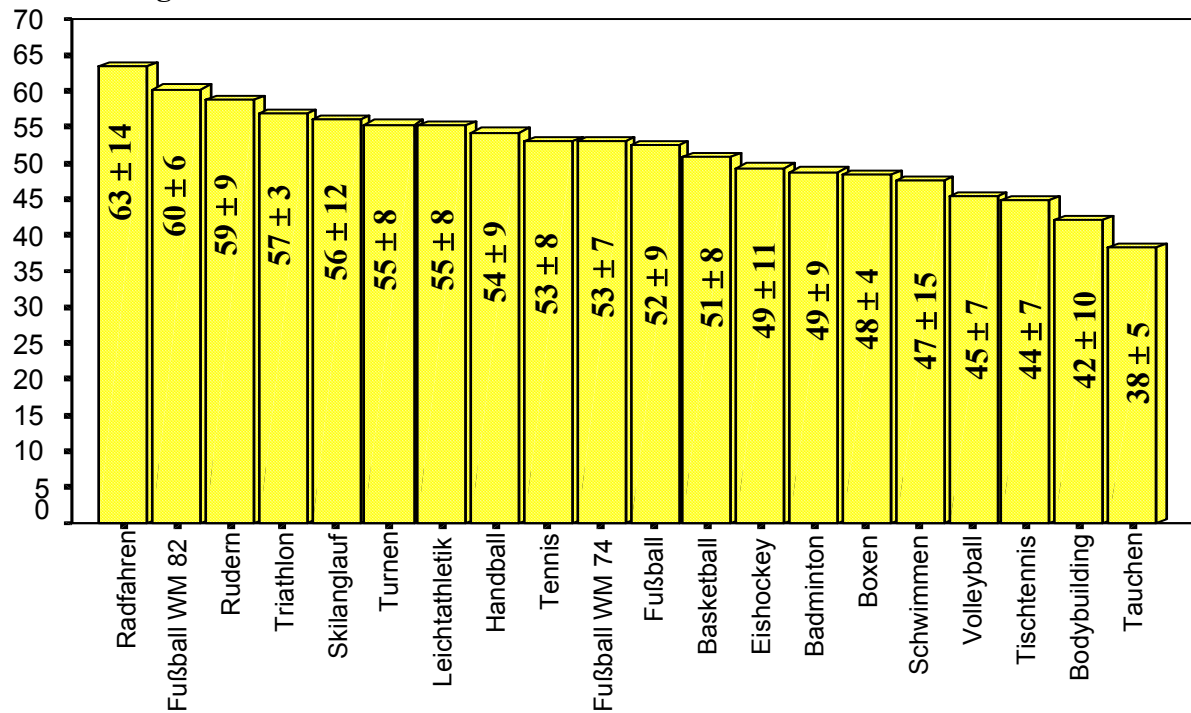
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 130 dargestellt.

Die mit der **1 W/kg KG-Methode** erzielte **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** von $61 \pm 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ ist am **größten**. Mit dem **Knipping-Verfahren** erreichen die sehr gut trainierten Probanden die **niedrigste** $\dot{V}O_2 \text{ max}$ / kg mit $57 \pm 10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Die Unterschiede zwischen allen Methoden sind aber **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab.43 zu entnehmen .

Maximale relative Sauerstoffaufnahme – Sportarten

$\dot{V}O_2$ ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD

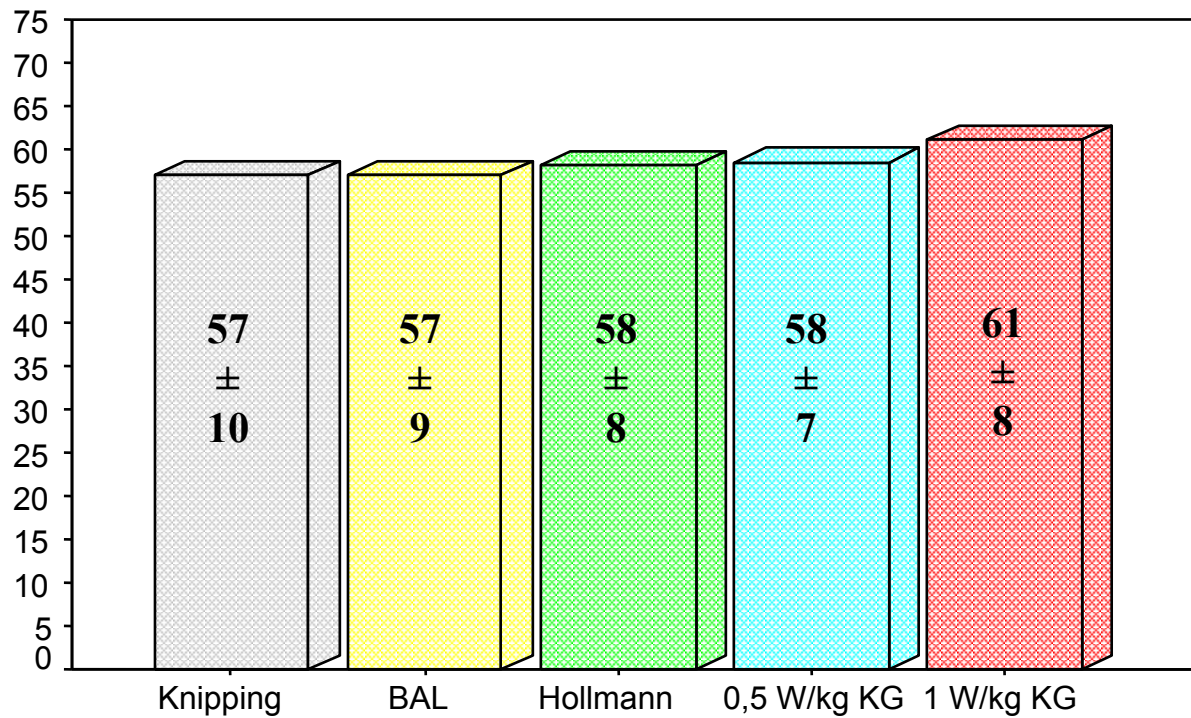


Sportart	Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹		Sportart	Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹	
	n	M \pm s		n	M \pm s
Radfahren	9	63 \pm 14	Fußball	21	52 \pm 9
Fußball WM 82	15	60 \pm 6	Basketball	16	51 \pm 8
Rudern	10	59 \pm 9	Eishockey	10	49 \pm 11
Triathlon	12	57 \pm 3	Badminton	11	49 \pm 9
Skilanglauf	9	56 \pm 12	Boxen	5	48 \pm 4
Turnen	8	55 \pm 8	Schwimmen	5	47 \pm 15
Leichtathletik	17	55 \pm 8	Volleyball	10	45 \pm 7
Handball	11	54 \pm 9	Tischtennis	12	44 \pm 7
Tennis	10	53 \pm 8	Bodybuilding	7	42 \pm 10
Fußball WM 74	23	53 \pm 7	Tauchen	12	38 \pm 5

Abb. 129: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximale relative Sauerstoffaufnahme – Belastungsmethoden

$\dot{V}O_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$



Max. $\dot{V}O_2$ $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	Knipping	BAL	Hollmann	0,5 W/kg KG	1 W/kg KG
\bar{x}	57	57	58	58	61
$\pm 1s$	10	9	8	7	8
n	6	6	6	6	6

Abb. 130: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 43: Maximale relative Sauerstoffaufnahme - Differenzen mit Signifikanzen zwischen 5 ergometrischen Methoden

Methode	Knipping		BAL		Hollmann		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			0	ns	1	ns	1	ns	4	ns
BAL					1	ns	1	ns	4	ns
Hollmann							0	ns	3	ns
0,5 W/kg KG									3	ns
1 W/kg KG										

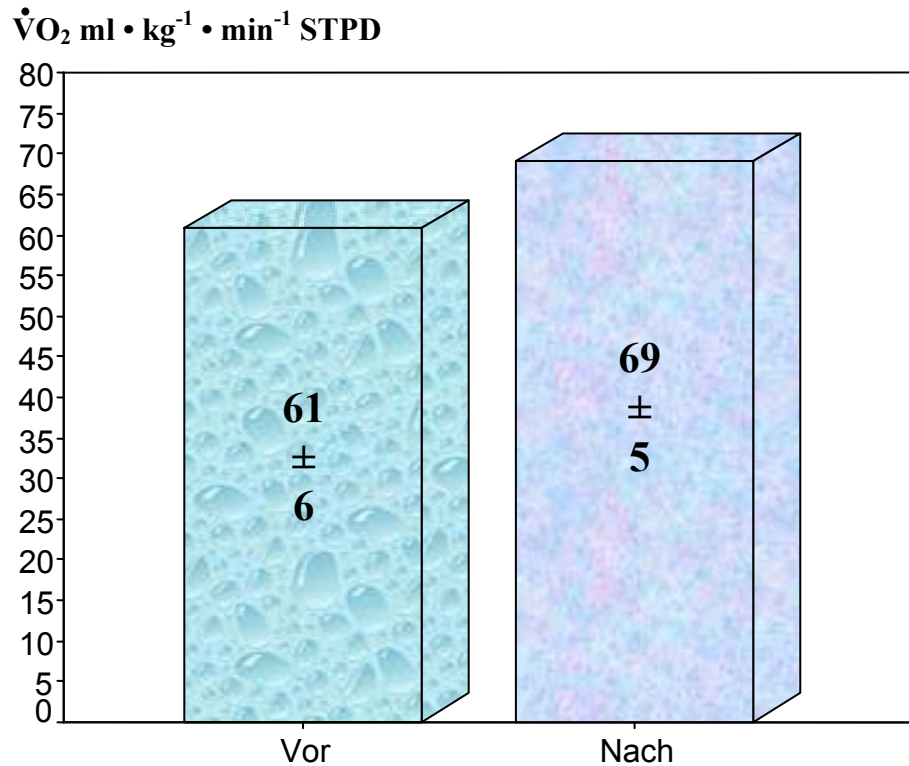
Die **Mittelwerte** und **Standardabweichungen** für die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 131 dargestellt.

Die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme vor dem Höhenttraining** beträgt $61 \pm 6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und **nach dem Höhenttraining** $69 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$. Der Unterschied zwischen **vor dem Höhenttraining** und **nach dem Höhenttraining** mit $8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

Die **Mittelwerte** und **Standardabweichungen** für die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 132 dargestellt.

Die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** $60 \pm 9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und bei dem **Hollmann-Verfahren** $51 \pm 11 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$. Der Unterschied zwischen den Methoden mit $9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

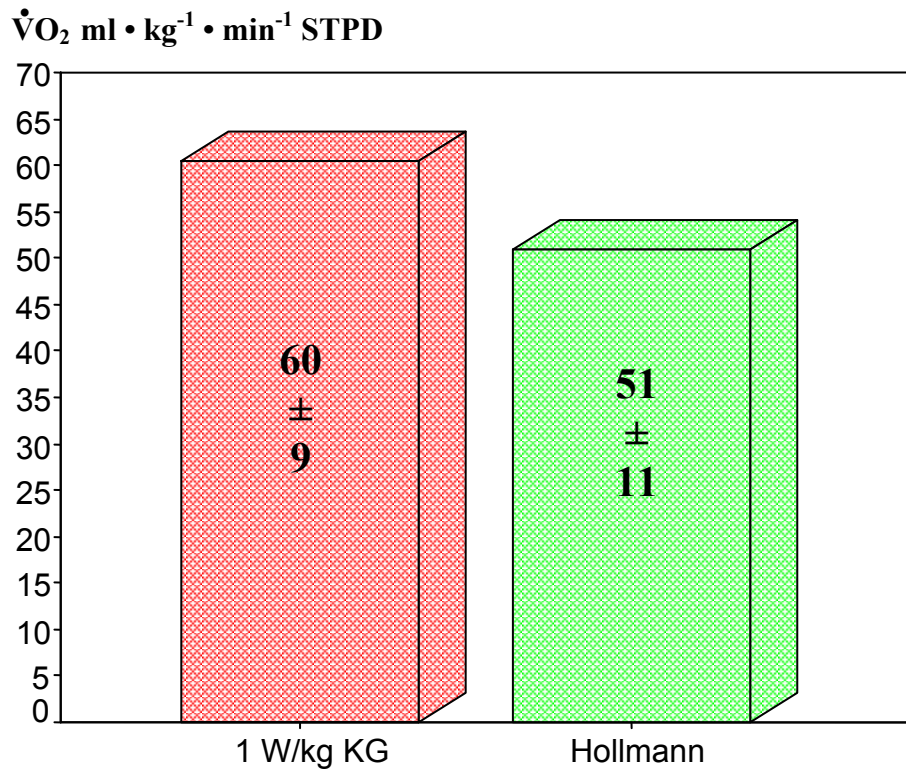
Maximale relative Sauerstoffaufnahme – Höhenttraining



Max. $\dot{V}O_2$ $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
\bar{x}	61	69
$\pm 1s$	6	5
n	8	8

Abb. 131: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

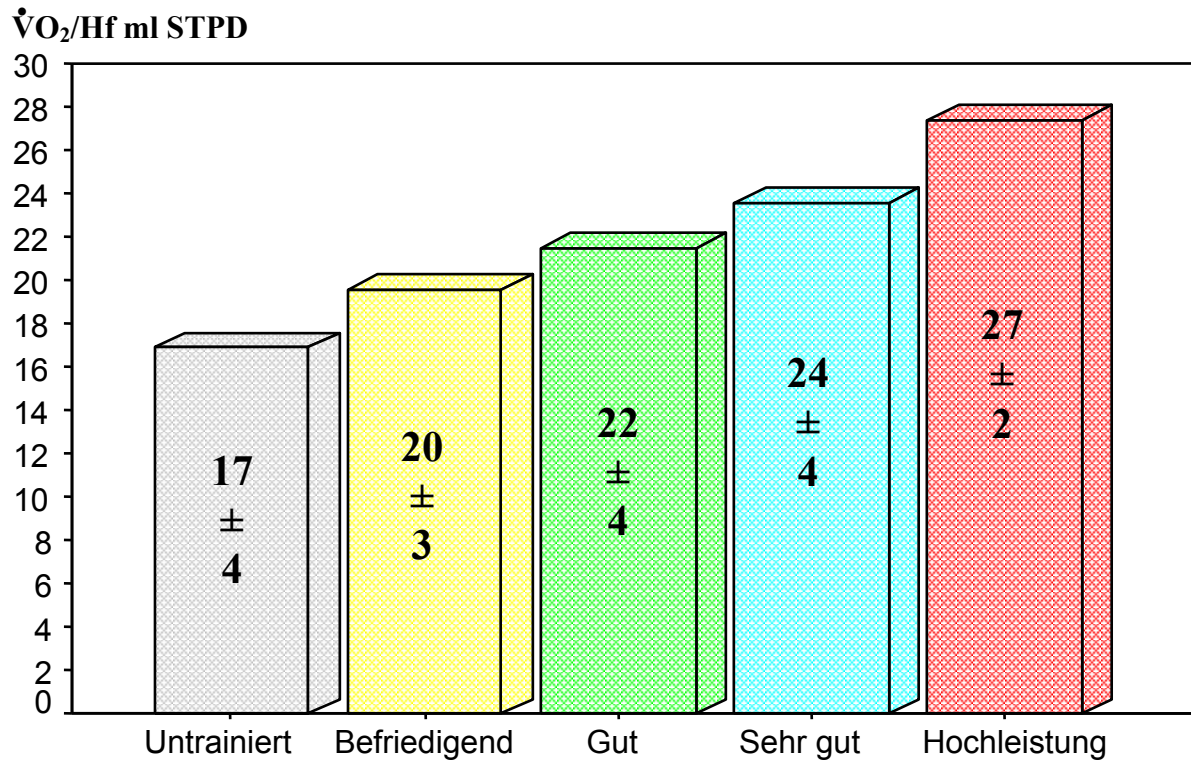
Maximale relative Sauerstoffaufnahme – Gruppe Athleten 2002



Max. $\dot{V}O_2$ ml \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	60	51
$\pm 1s$	9	11
n	9	9

Abb. 132: Mittelwerte und Standardabweichungen der Maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximaler Sauerstoffpuls – Trainingszustand



Max. $\dot{V}O_2/Hf$ ml STPD	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	17	20	22	24	27
$\pm 1s$	4	3	4	4	2
n	25	54	85	72	9

Abb. 133: Mittelwerte und Standardabweichungen des Maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot Hf^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Maximalen Sauerstoffpuls** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 134 dargestellt.

Der **Maximale Sauerstoffpuls** ist bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** bei der Gruppe **Fußball WM 82** mit $27 \pm 3 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ **STPD** der **größte Wert** und bei den **Tauchern** mit $16 \pm 2 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ **STPD** der **niedrigste Wert**.

Der **Max. O₂-Puls** ist bei dem **Vize-Weltmeister 1982 Bundesrepublik Deutschland** im Vergleich zu fast allen anderen von uns mit der gleichen Methode untersuchten Sportarten und Mannschaften **hoch signifikant** größer ($P \leq 0,001$).

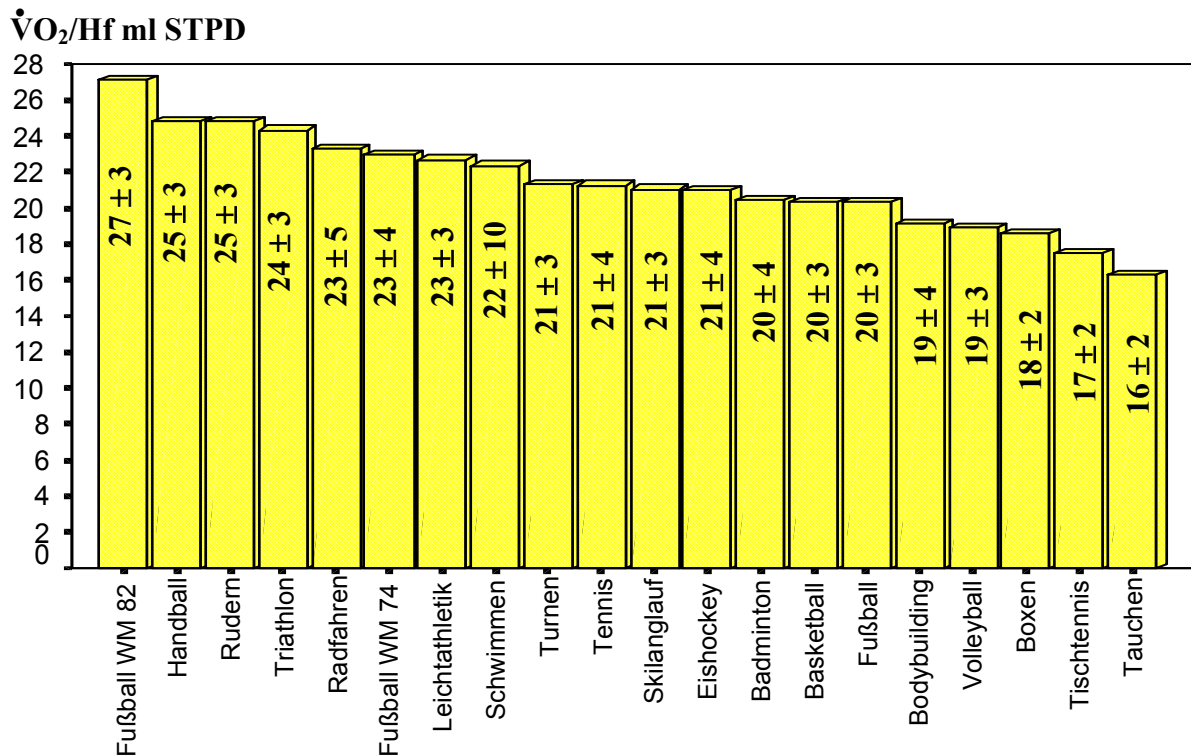
Nur die Unterschiede zu den **Handballspielern** mit $2 \text{ ml O}_2/\text{Hf}$, zu den **Ruderern** mit 2 ml und zu den **Triathleten** mit $6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ **STPD** sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$). Der im Vergleich zu den **Radfahrern** mit 4 ml höhere maximale Sauerstoffpuls der Gruppe **Fußball WM 82** ist **signifikant** ($P \leq 0,05$) und mit 5 ml zu den **Schwimmern** schon **sehr signifikant** größer ($P \leq 0,01$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Maximalen Sauerstoffpuls** der **sehr gut trainierten** Probanden bei den **5 unterschiedlichen fahrradspiroergometrischen Belastungsmethoden** im Sitzen sind in der Abb. 135 dargestellt.

Der mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichte **Maximale Sauerstoffpuls** mit $25 \pm 8 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ **STPD** ist am **größten**. Mit den anderen 4 ergometrischen Methoden erreichen die sehr gut trainierten Probanden ohne Ausnahme im Durchschnitt einen **max. O₂-Puls** von 23 ml . Die Unterschiede zur Gießener Methode sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden bei dem Maximalen Sauerstoffpuls sind der Tab. 45 zu entnehmen.

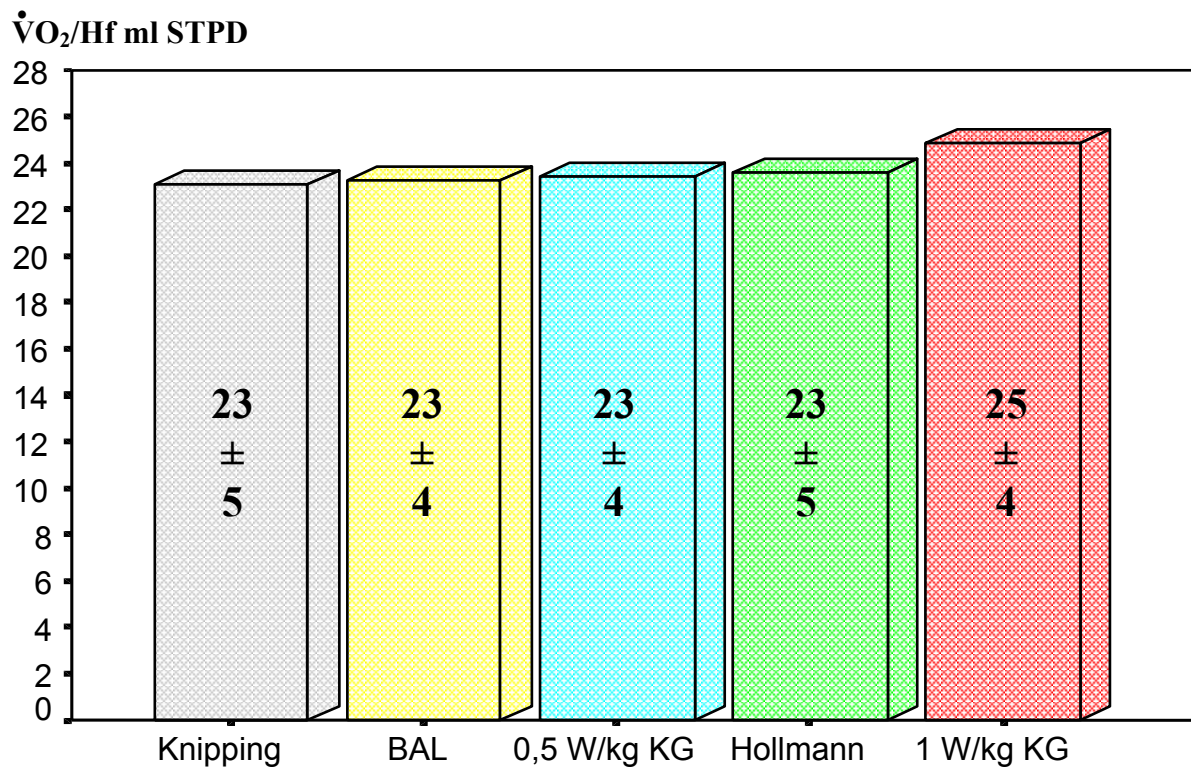
Maximaler Sauerstoffpuls – Sportarten



Sportart	Max. $\dot{V}O_2/Hf$ ml STPD		Sportart	Max. $\dot{V}O_2/Hf$ ml STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Fußball WM 82	15	27 ± 3	Skilanglauf	9	21 ± 3
Handball	11	25 ± 3	Eishockey	10	21 ± 4
Rudern	10	25 ± 3	Badminton	11	20 ± 4
Triathlon	12	24 ± 3	Basketball	16	20 ± 3
Radfahren	9	23 ± 5	Fußball	21	20 ± 3
Fußball WM 74	23	23 ± 4	Bodybuilding	7	19 ± 4
Leichtathletik	17	23 ± 3	Volleyball	10	19 ± 3
Schwimmen	5	22 ± 10	Boxen	5	18 ± 2
Turnen	8	21 ± 3	Tischtennis	12	17 ± 2
Tennis	10	21 ± 4	Tauchen	12	16 ± 2

Abb. 134: Mittelwerte und Standardabweichungen des Maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradsproergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximaler Sauerstoffpuls – Belastungsmethoden



Max. $\dot{V}O_2/H_f$ l STPD	Knipping	BAL	0,5 W/kg KG	Hollmann	1 W/kg KG
\bar{x}	23	23	23	23	25
$\pm 1s$	5	4	4	5	4
n	6	6	6	6	6

Abb. 135: Mittelwerte und Standardabweichungen des Maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot H_f^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Tabelle 45: Maximaler Sauerstoffpuls - Differenzen mit Signifikanzen zwischen 5 ergometrischen Methoden

Methode	Knipping		BAL		Hollmann		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			0	ns	0	ns	0	ns	2	ns
BAL					0	ns	0	ns	2	ns
Hollmann							0	ns	2	ns
0,5 W/kg KG									2	ns
1 W/kg KG										

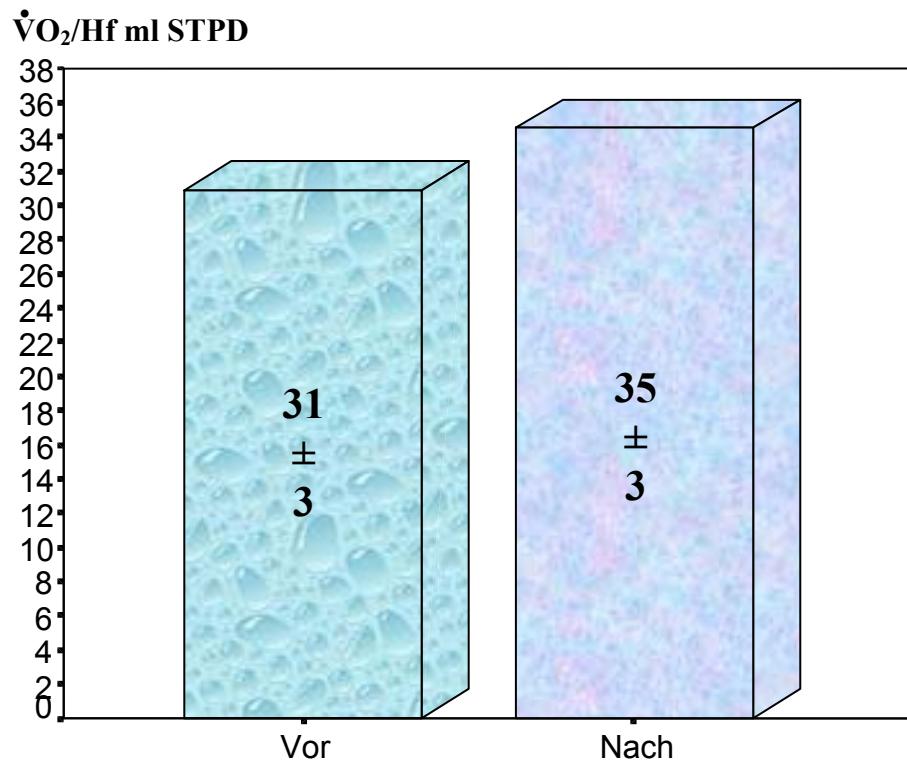
Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Maximalen Sauerstoffpuls** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 136 dargestellt.

Der **Maximale Sauerstoffpuls vor dem Höhenttraining** beträgt $31 \pm 3 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD und **nach dem Höhenttraining** $35 \pm 3 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD. Der Unterschied **vor und nach dem Höhenttraining** mit 4 ml ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für den **Maximalen Sauerstoffpuls** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 137 dargestellt.

Der **Maximale Sauerstoffpuls** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** $25 \pm 4 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD und bei dem **Hollmann-Verfahren** $21 \pm 3 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit 4 ml ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

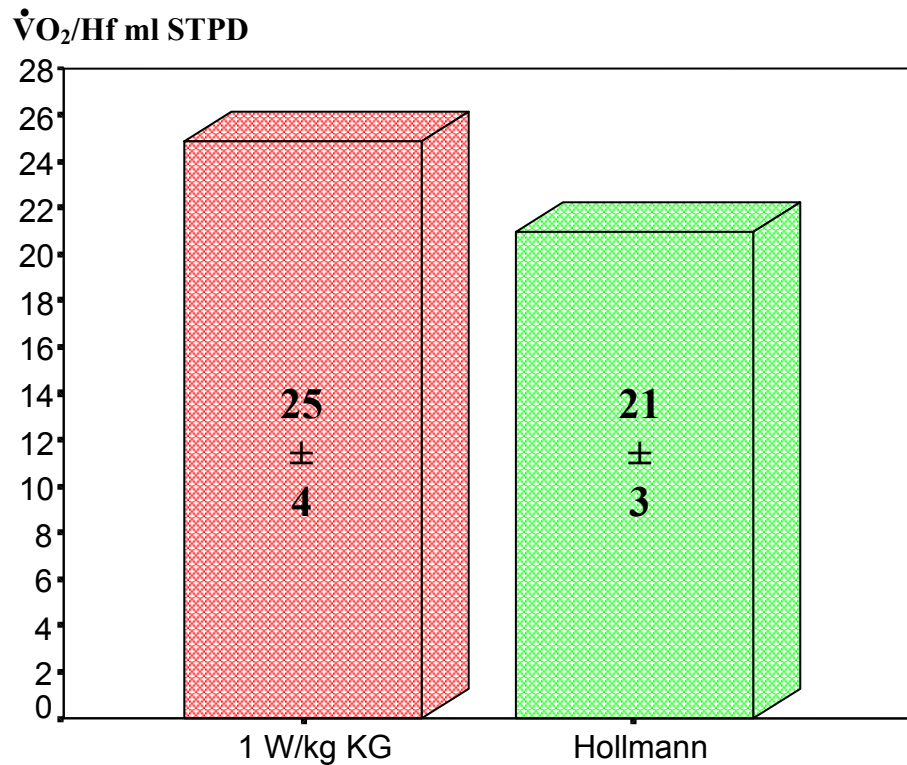
Maximaler Sauerstoffpuls – Höhenttraining



Max. $\dot{V}O_2/Hf$ l STPD	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
\bar{x}	31	35
$\pm 1s$	3	3
n	8	8

Abb. 136: Mittelwerte und Standardabweichungen des Maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot Hf⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Maximaler Sauerstoffpuls – Gruppe Athleten 2002



Max. $\dot{V}O_2/Hf$ 1 STPD	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	25	21
$\pm 1s$	4	3
n	9	9

Abb. 137: Mittelwerte und Standardabweichungen des Maximalen Sauerstoffpulses ($\dot{V}O_2$ max ml \cdot Hf⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

4.4.4 Gesamt- und Mehrauerstoffaufnahme

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtsauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD), die Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD) der Probanden von den untrainierten gesunden Männern über die unterschiedlich trainierten Sportler bis zu den Athleten aus dem Hochleistungsbereich bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode sind in der Abb. 138 dargestellt.

Die **Gesamtsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase** liegt bei der **untrainierten Gruppe** mit $10,7 \pm 1,7$ l STPD, der **befriedigend trainierten Gruppe** mit $14,7 \pm 2,1$ l STPD, der **gut trainierten Gruppe** mit $18,2 \pm 2,8$ l STPD, der **sehr gut trainierten Gruppe** mit $23,0 \pm 3,7$ l STPD und der **Hochleistungsgruppe** mit $33,0 \pm 4,8$ l STPD. Die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Setzt man die Gesamtsauerstoffaufnahme der Gruppe **untrainierte Männer** während der erschöpfenden spiroergometrischen **Leistungsphase** mit **100 %** an, dann nimmt die **befriedigend trainierte Gruppe 137 %**, die **gut trainierte Gruppe 170 %**, die **sehr gut trainierte Gruppe 215 %** und die **Hochleistungsgruppe 308 %** mehr **Sauerstoff** auf.

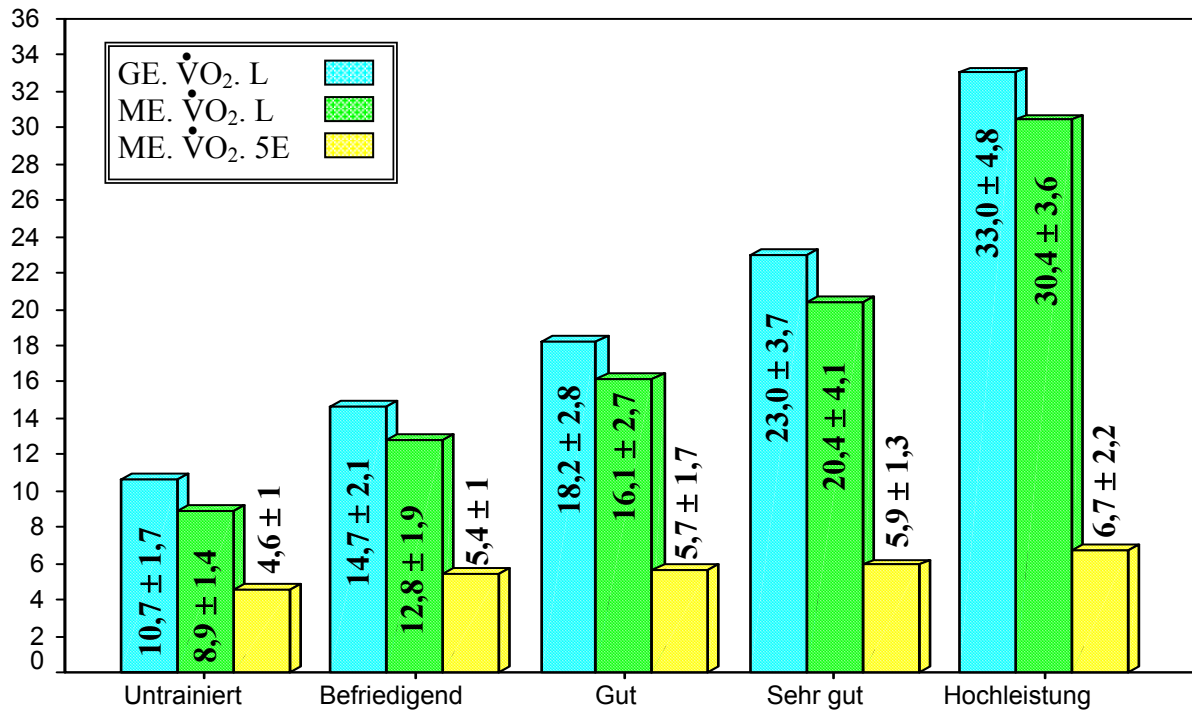
Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Gesamtsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase sind der Tab. 46 zu entnehmen.

Tabelle 46: Gesamtsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

[illegible]

Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme – Trainingszustand

$\dot{V}O_2$ l STPD



Gruppe	n	Gesamt. $\dot{V}O_2$ L l STPD	Mehr. $\dot{V}O_2$ L l STPD	Mehr. $\dot{V}O_2$ 5E l STPD
Untrainiert	25	10,7 ± 1,7	8,9 ± 1,4	4,6 ± 1,0
Befriedigend trainiert	54	14,7 ± 2,1	12,8 ± 1,9	5,4 ± 1,0
Gut trainiert	85	18,2 ± 2,8	16,1 ± 2,7	5,7 ± 1,7
Sehr gut trainiert	72	23,0 ± 3,7	20,4 ± 4,1	5,9 ± 1,3
Hochleistung	9	33,0 ± 4,8	30,4 ± 3,6	6,7 ± 2,2

Abb. 138: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$ L l STPD), der Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}O_2$ L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}O_2$ 5E l STPD) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrsauerstoffaufnahme** beträgt in der **Leistungsphase** bei der **untrainierten Gruppe** $8,9 \pm 1,4$ l STPD, der **befriedigend trainierten Gruppe** $12,8 \pm 1,9$ l STPD, der **gut trainierten Gruppe** $16,1 \pm 2,7$ l STPD, der **sehr gut trainierten Gruppe** $20,4 \pm 4,1$ l STPD und bei der **Hochleistungsgruppe** $30,4 \pm 3,6$ l STPD. Die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase sind der Tab. 47 zu entnehmen.

Tabelle 47: Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			3,9	***	7,2	***	11,5	***	21,5	***
Befriedigend					3,3	***	7,6	***	17,6	***
Gut							4,3	***	14,3	***
Sehr gut									10,0	***
Hochleistung										

In der **Erholungsphase** konnte die Mehrsauerstoffaufnahme bzw. die **5-Minuten Sauerstoffschuld** der **untrainierten Gruppe** mit $4,6 \pm 1,0$ l STPD registriert werden.

Die entsprechenden **5'-O₂-Schuld-Werte** wurden für die **befriedigend trainierte Gruppe** mit $5,4 \pm 1,0$ l SPTD, die **gut trainierte Gruppe** mit $6,0 \pm 3,3$ l STPD, die **sehr gut trainierte Gruppe** mit $5,9 \pm 1,3$ l STPD und die **Hochleistungsgruppe** mit $6,7 \pm 2,2$ l STPD berechnet.

Die Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei der Mehrsauerstoffaufnahme in der 5 minütigen Erholungsphase sind der Tab. 48 zu entnehmen.

Tabelle 48: Mehrauerstoffaufnahme in der 5-minütigen Erholungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			0,8	**	1,1	***	1,3	***	2,1	***
Befriedigend					0,6	ns	0,5	*	1,3	**
Gut							0,1	ns	0,7	*
Sehr gut									0,8	ns
Hochleistung										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtsauerstoffaufnahme** (**GE. $\dot{V}O_2$. L 1 STPD**) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 139 dargestellt.

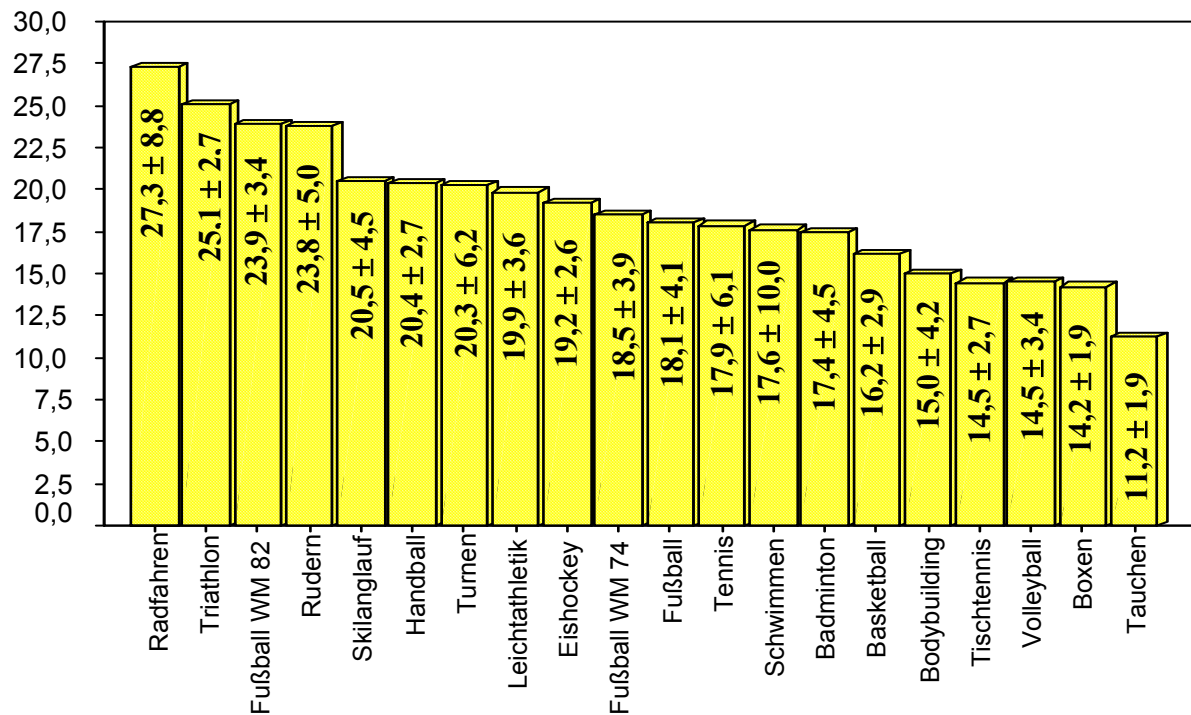
Die **Gesamtsauerstoffaufnahme** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Radfahrern** mit **$27,3 \pm 8,8$ l STPD** am **größten** und bei den **Tauchern** mit **$11,2 \pm 1,9$ l STPD** am **niedrigsten**.

Die **Gesamtsauerstoffaufnahme** der **Radfahrer** ist im Vergleich zur Gruppe **Fußball WM 82** mit **$23,9 \pm 3,4$ l STPD**, zu den **Ruderern** mit **$23,8 \pm 5,0$ l STPD** und zu den **Triathleten** mit **$25,1 \pm 2,7$ l STPD** **nicht signifikant** (**$P > 0,05$**). Zu allen anderen Sportarten sind die **$27,3$ l O_2 -Gesamtaufnahme** der **Radfahrer** **hoch signifikant größer** (**$P \leq 0,001$**).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Mehrsauerstoffaufnahme** (**ME. $\dot{V}O_2$. L 1 STPD**) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 140 dargestellt.

Gesamtsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase – Sportarten

GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD

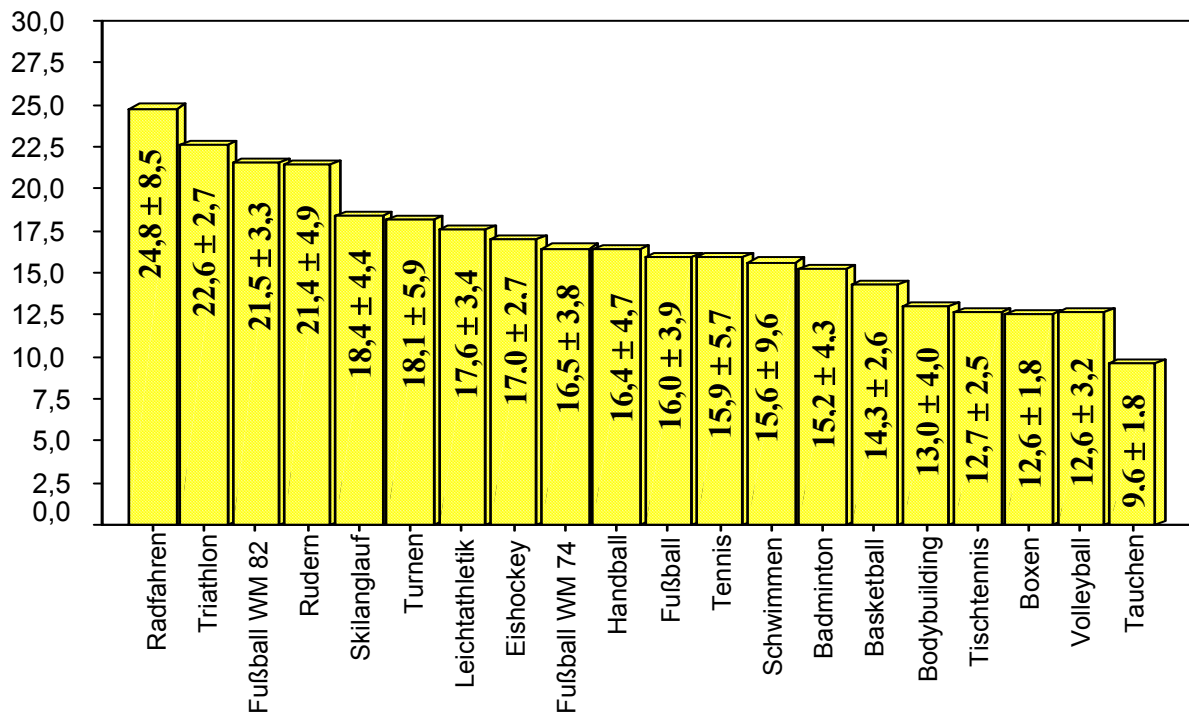


Sportart	Gesamt. $\dot{V}O_2$. L l STPD		Sportart	Gesamt. $\dot{V}O_2$. L l STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	27,3 ± 8,8	Fußball	21	18,1 ± 4,1
Triathlon	6	25,1 ± 2,7	Tennis	10	17,9 ± 6,1
Fußball WM 82	15	23,9 ± 3,4	Schwimmen	5	17,6 ± 10,0
Rudern	10	23,8 ± 5,0	Badminton	11	17,4 ± 4,5
Skilanglauf	9	20,5 ± 4,5	Basketball	16	16,2 ± 2,9
Handball	11	20,4 ± 2,7	Bodybuilding	7	15,0 ± 4,2
Turnen	8	20,3 ± 6,2	Tischtennis	12	14,5 ± 2,7
Leichtathletik	17	19,9 ± 3,6	Volleyball	10	14,5 ± 3,4
Eishockey	10	19,2 ± 2,6	Boxen	5	14,2 ± 1,9
Fußball WM 74	23	18,5 ± 3,9	Tauchen	12	11,2 ± 1,9

Abb. 139: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase – Sportarten

ME. $\dot{V}O_2$, L I STPD



Sportart	Mehr. $\dot{V}O_2$, L I STPD		Sportart	Mehr. $\dot{V}O_2$, L I STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	24,8 ± 8,5	Fußball	21	16,0 ± 3,9
Triathlon	6	22,6 ± 2,7	Tennis	10	15,9 ± 5,7
Fußball WM 82	15	21,5 ± 3,3	Schwimmen	5	15,6 ± 9,6
Rudern	10	21,4 ± 4,9	Badminton	11	15,2 ± 4,3
Skilanglauf	9	18,4 ± 4,4	Basketball	16	14,3 ± 2,6
Turnen	8	18,1 ± 5,9	Bodybuilding	7	13,0 ± 4,0
Leichtathletik	17	17,6 ± 3,4	Tischtennis	12	12,7 ± 2,5
Eishockey	10	17,0 ± 2,7	Boxen	5	12,6 ± 1,8
Fußball WM 74	23	16,5 ± 3,8	Volleyball	10	12,6 ± 3,2
Handball	11	16,4 ± 4,7	Tauchen	12	9,6 ± 1,8

Abb. 140: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mehresauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$, L I STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrsauerstoffaufnahme** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen mit der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Radfahrern** mit $24,8 \pm 8,5$ l STPD am **größten** und bei den **Tauchern** mit $9,6 \pm 1,8$ l STPD am **niedrigsten**.

Die **Mehrsauerstoffaufnahme** der **Radfahrer** ist im Vergleich zur Gruppe **Fußball WM 82** mit $21,5 \pm 3,3$ l STPD, zu den **Ruderern** mit $21,4 \pm 4,9$ l STPD und zu den **Triathleten** mit $22,6 \pm 2,7$ l STPD **nicht signifikant** ($P > 0,05$), dagegen zu den **Turnern** mit $18,1 \pm 5,9$ l STPD und zu den **Skilangläufern** mit $18,4 \pm 4,4$ l STPD **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) größer. Zu allen anderen Sportarten sind die $24,8$ l O_2 -Mehraufnahme der **Radfahrer** **hoch signifikant** größer ($P \leq 0,001$).

Die **Mittelwerte** und **Standardabweichungen** für die **Mehrsauerstoffaufnahme** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** nach **5 Minuten Erholung** (ME. $\dot{V}O_2$. $5E$ l STPD) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 141 dargestellt.

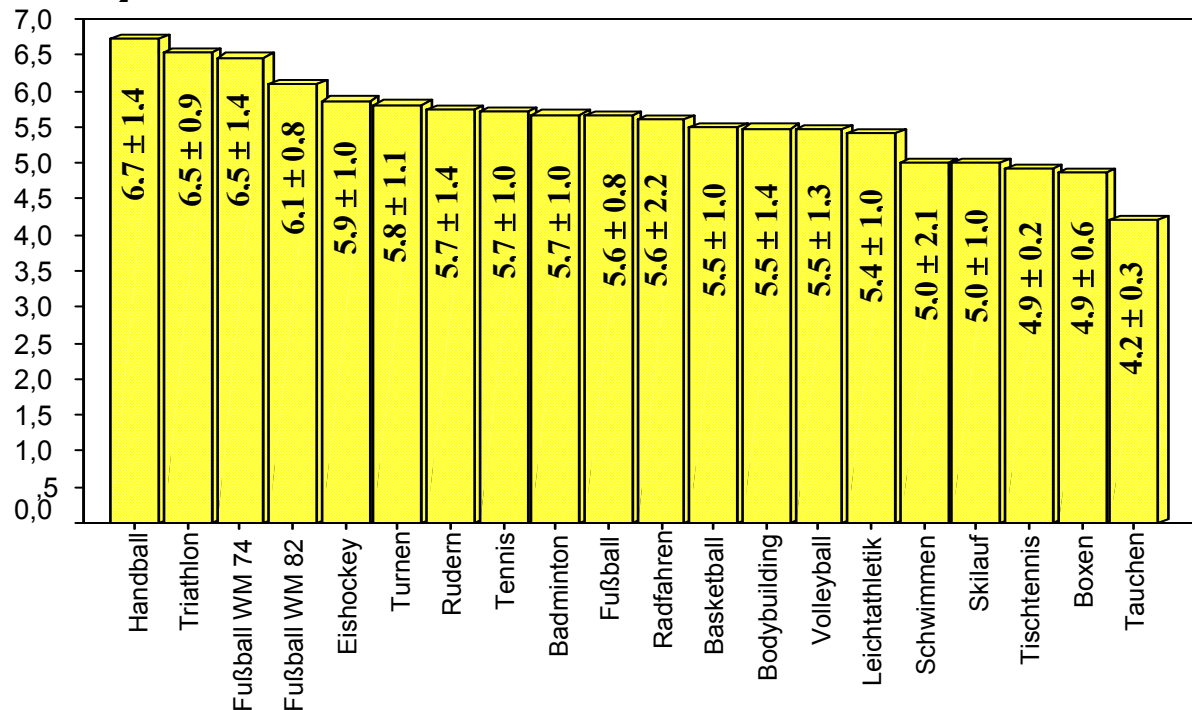
Die **Mehrsauerstoffaufnahme** nach **5 Minuten Erholung** oder die **5'- O_2 -Schuld** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Handballspielern** mit $6,7 \pm 1,4$ l STPD am **größten** und bei den **Tauchern** mit $4,2 \pm 0,3$ l STPD am **niedrigsten**.

Die **5'- O_2 -Schuld** der **Handballspieler** ist im Vergleich zu den **Badmintonspielern** mit $5,7 \pm 1,0$ l STPD, zu den **Bodybuildern** mit $5,5 \pm 1,4$ l STPD, zu den **Fußballspielern** mit $5,6 \pm 0,8$ l STPD, zu den **Radfahrern** mit $5,6 \pm 2,2$ l STPD, zu den **Ruderern** mit $5,7 \pm 1,4$ l STPD, zu den **Tennispielern** mit $5,7 \pm 1,0$ l STPD und zu den **Volleyballspielern** mit $5,5 \pm 1,3$ l STPD **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer, zu den **Basketballspielern** mit $5,5 \pm 1,0$ l STPD, zu den **Boxern** mit $4,9 \pm 0,2$ l STPD, zu den **Leichtathleten** mit $5,4 \pm 1,0$ l STPD und zu den **Schwimmern** mit $5,0 \pm 2,1$ l STPD **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$), dagegen zu den **Skilangläufern** mit $5,0 \pm 1,0$ l STPD, zu den **Tauchern** mit $4,2 \pm 0,3$ l STPD und zu den **Tischtennispielern** mit $4,9 \pm 0,6$ l STPD **hoch signifikant** größer ($P \leq 0,001$).

Zu allen anderen Sportarten sind die $6,7$ l **5'- O_2 -Schuld** der **Handballspieler** **nicht signifikant** ($P > 0,05$) größer.

Mehrsauerstoffaufnahme in der Erholungsphase – Sportarten

ME. $\dot{V}O_2$. 5E | STPD



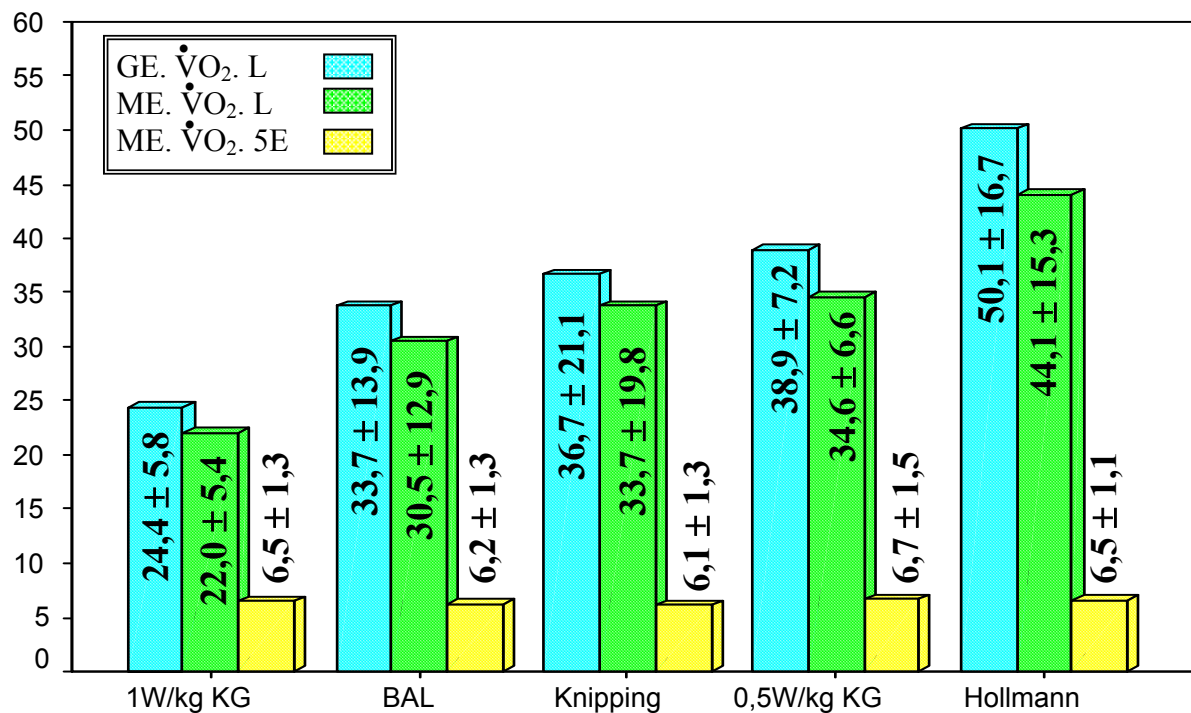
Sportart	Mehr. $\dot{V}O_2$. 5E 1 STPD		Sportart	Mehr. $\dot{V}O_2$. 5E 1 STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Handball	11	6,7 ± 1,4	Radfahren	9	5,6 ± 2,2
Triathlon	6	6,5 ± 0,9	Basketball	16	5,5 ± 1,0
Fußball WM 74	23	6,5 ± 1,4	Bodybuilding	7	5,5 ± 1,4
Fußball WM 82	15	6,1 ± 0,8	Volleyball	10	5,5 ± 1,3
Eishockey	10	5,9 ± 1,0	Leichtathletik	17	5,4 ± 1,0
Turnen	8	5,8 ± 1,1	Schwimmen	5	5,0 ± 2,1
Rudern	10	5,7 ± 1,4	Skilanglauf	9	5,0 ± 1,0
Tennis	10	5,7 ± 1,0	Tischtennis	12	4,9 ± 0,6
Badminton	11	5,7 ± 1,0	Boxen	5	4,9 ± 0,2
Fußball	21	5,6 ± 0,8	Tauchen	12	4,2 ± 0,3

Abb. 141: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mehraufnahme (ME. $\dot{V}O_2$. 5E | STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten nach 5 Minuten Erholung bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

[illegible]

Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme – Belastungsmethoden

$\dot{V}O_2$ l STPD



Methode	n	Gesamt. $\dot{V}O_2$. L l STPD	Mehr. $\dot{V}O_2$. L l STPD	Mehr. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD
1 W/kg KG	6	24,4 ± 5,8	22,0 ± 5,4	6,5 ± 1,3
BAL	6	33,7 ± 13,9	30,5 ± 12,9	6,2 ± 1,3
Knipping	6	36,7 ± 21,1	33,7 ± 19,8	6,1 ± 1,3
0,5 W/kg KG	6	38,9 ± 7,2	34,6 ± 6,6	6,7 ± 1,5
Hollmann	6	50,1 ± 16,7	44,1 ± 15,3	6,5 ± 1,1

Abb. 142: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD), der Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase** ist bei dem **Hollmann-Verfahren** mit $44,1 \pm 15,3$ l STPD der **größte Wert**, bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $22,0 \pm 5,4$ l STPD der **niedrigste**. Das **Hollmann-Verfahren** gestattet im Vergleich zur **1 W/kg KG-Methode** eine **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) höhere **O₂-Mehraufnahme** bis zur Erschöpfung der Athleten.

Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die Differenzen zwischen den Methoden bei der Mehraufnahme in der Leistungsphase sind der Tab. 50 zu entnehmen.

Tabelle 50: Mehraufnahme in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	1 W/kg KG		BAL		Knipping		0,5 W/kg KG		Hollmann	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
1 W/kg KG			8,5	ns	11,7	ns	12,6	ns	22,1	**
BAL					3,2	ns	4,1	ns	13,6	ns
Knipping							0,9	ns	10,4	ns
0,5 W/kg KG									9,5	ns
Hollmann										

In der **Erholungsphase** ist die **Mehrsauerstoffaufnahme** – auch als **5'-O₂-Schuld** definiert – bei der **0,5 W/kg KG-Methode** mit $6,7 \pm 1,5$ l STPD am **größten** und bei dem **Knipping-Verfahren** fanden wir mit $6,1 \pm 1,3$ l STPD den **niedrigsten Wert**.

Die Unterschiede zwischen allen Belastungsmethoden in der **Erholungsphase** sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab. 51 zu entnehmen.

Tabelle 51: Mehrsauerstoffaufnahme in der Erholungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	Knipping		BAL		1 W/kg KG		Hollmann		0,5 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			0,1	ns	0,4	ns	0,4	ns	0,6	ns
BAL					0,3	ns	0,3	ns	0,5	ns
1 W/kg KG							0,0	ns	0,2	ns
Hollmann									0,2	ns
0,5 W/kg KG										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtsauerstoffaufnahme** (**GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD**), die **Mehrsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}O_2$. L l STPD**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD**) der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 143 dargestellt.

Die **Gesamtsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase vor dem Höhenttraining** beträgt **45,8 ± 4,1 l SPTD** und **nach dem Höhenttraining** **53,4 ± 3,9 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **7,6 l STPD** ist **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**).

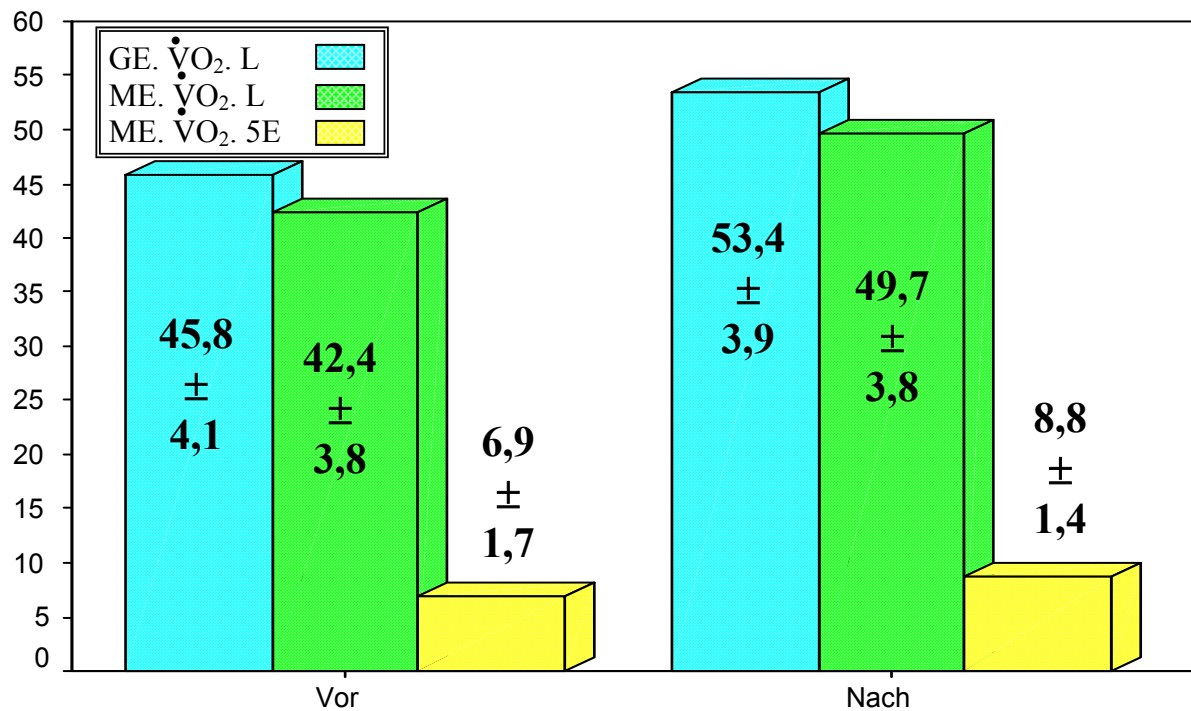
Die **Mehrsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase vor dem Höhenttraining** beträgt **42,4 ± 3,8 l SPTD** und **nach dem Höhenttraining** **49,7 ± 3,8 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **7,3 l STPD** ist **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**).

In der **Erholungsphase** beträgt die **Mehrsauerstoffaufnahme vor dem Höhenttraining** **6,9 ± 1,7 l SPTD** und **nach dem Höhenttraining** **8,8 ± 1,4 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **1,9 l STPD** ist **signifikant** (**P ≤ 0,05**).

Dies ist als bedeutsames Ergebnis für das von **NOWACKI, ADAM 1974** entwickelte **Höhenttraining** der **deutschen Elite-Ruderer** einzustufen. Es beweist, dass sowohl die **aerobe**, aber auch die **anaerobe Kapazität** der Athleten signifikant ansteigt.

Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme – Höhenttraining

$\dot{V}O_2$ l STPD



$\dot{V}O_2$ l STPD	n	vor dem Höhenttraining	nach dem Höhenttraining
Gesamt. $\dot{V}O_2$. L	8	45,8 ± 4,1	53,4 ± 3,9
Mehr. $\dot{V}O_2$. L	8	42,4 ± 3,8	49,7 ± 3,8
Mehr. $\dot{V}O_2$. 5E	8	6,9 ± 1,7	8,8 ± 1,4

Abb. 143: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD), der Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtsauerstoffaufnahme** (**GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD**), die **Mehrsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}O_2$. L l STPD**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD**) der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 144 dargestellt.

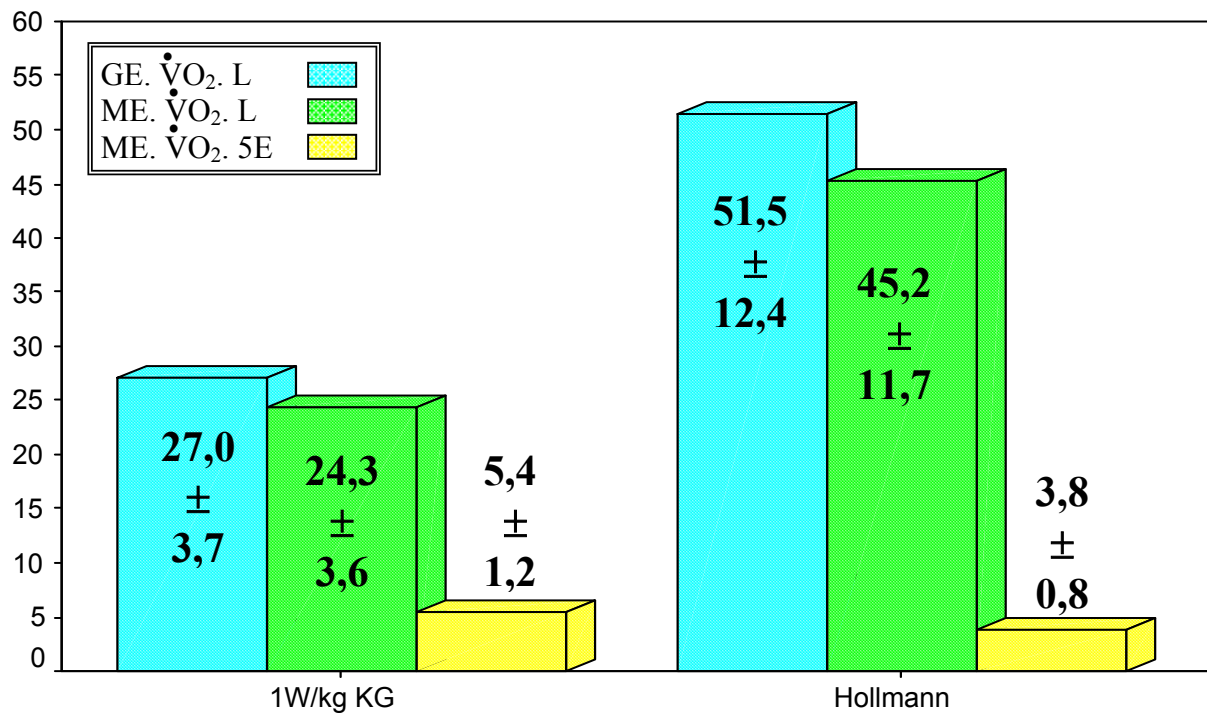
In der **Leistungsphase** beträgt die **Gesamtsauerstoffaufnahme** bei der **1 W/kg KG-Methode** **27,0 ± 3,7 l STPD** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **51,5 ± 12,4 l STPD**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **24,5 l STPD** ist **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**).

Die **Mehrsauerstoffaufnahme** in der **Leistungsphase** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** **24,3 ± 3,6 l STPD** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **45,2 ± 11,7 l STPD**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **20,9 l STPD** ist **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**).

Die **Mehrsauerstoffaufnahme** in der **Erholungsphase** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** **5,4 ± 1,2 l STPD** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **3,8 ± 0,8 l STPD**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **1,6 l STPD** ist **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**).

Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme – Gruppe Athleten 2002

$\dot{V}O_2$ l STPD

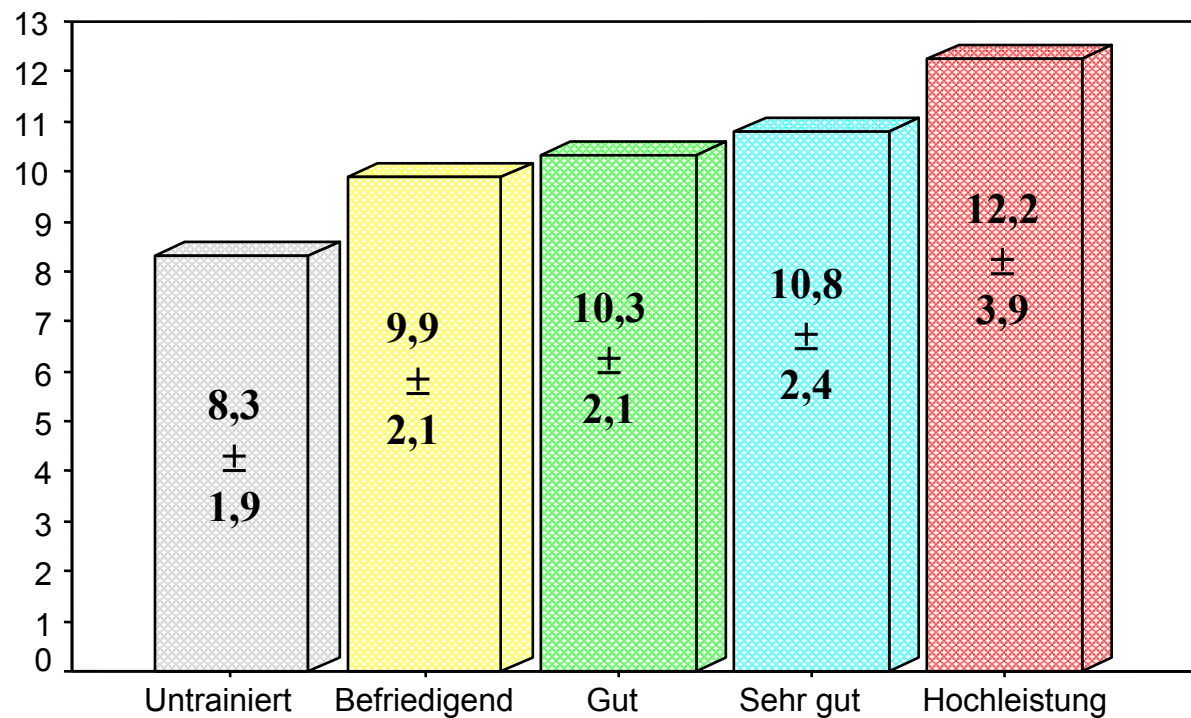


$\dot{V}O_2$ l STPD	n	1 W/kg KG	Hollmann
Gesamt. $\dot{V}O_2$. L	9	27,0 \pm 3,7	51,5 \pm 12,4
Mehr. $\dot{V}O_2$. L	9	24,3 \pm 3,6	45,2 \pm 11,7
Mehr. $\dot{V}O_2$. 5E	9	5,4 \pm 1,2	3,8 \pm 0,8

Abb. 144: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffaufnahme (GE. $\dot{V}O_2$. L l STPD), der Mehrsauerstoffaufnahme in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}O_2$. 5E l STPD) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamtsauerstoffschuld – Trainingszustand

$\dot{V}O_2$ l STPD



Gesamtsauerstoffschuld l STPD	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
\bar{x}	8,3	9,9	10,3	10,8	12,2
$\pm 1s$	1,9	2,1	2,1	2,4	3,9
n	25	54	85	72	9

Abb. 145: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffschuld (l STPD) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtsauerstoffschuld** der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 146 dargestellt.

Die **Gesamtsauerstoffschuld** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Handballspielern** mit $12,2 \pm 2,6$ l STPD am **größten** und bei den **Tauchern** mit $7,6 \pm 0,6$ l STPD am **niedrigsten**.

Die relativ hohe **Gesamt-O₂-Schuld** der **Handballspieler** ist im Vergleich zu den Sportarten **Rudern** mit $10,4 \pm 2,5$ l STPD, **Badminton** mit $10,3 \pm 1,7$ l STPD, **Fußball** mit $10,3 \pm 1,5$ l STPD, **Radfahren** mit $10,2 \pm 4,1$ l STPD, **Volleyball** mit $10,0 \pm 2,4$ l STPD, und **Bodybuilding** mit $9,9 \pm 2,6$ l STPD **signifikant größer** ($P \leq 0,05$).

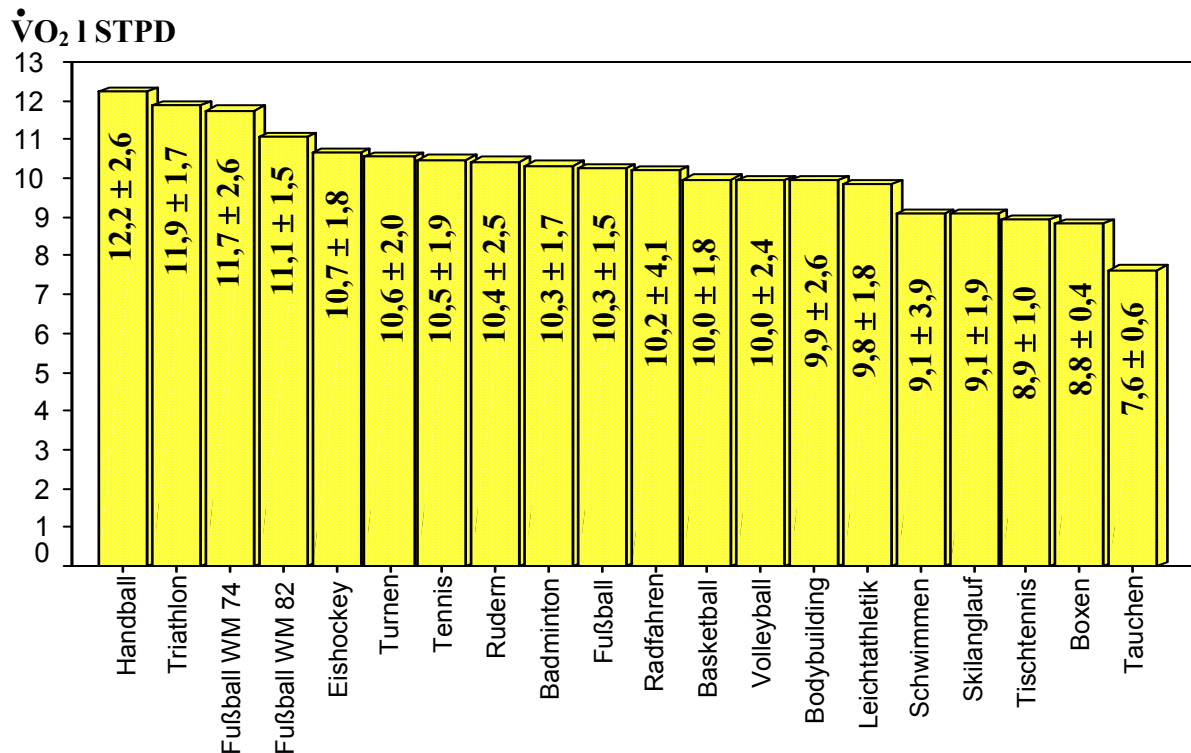
Im Vergleich zu den Sportarten **Basketball** mit $10,0 \pm 1,8$ l STPD, **Leichtathletik** mit $9,8 \pm 1,8$ l STPD, **Schwimmen** mit $9,1 \pm 3,9$ l STPD und **Boxen** mit $8,8 \pm 0,4$ l STPD verfügen die **Handballspieler** aus der höchsten deutschen Spielklasse (Bundesliga) über eine **sehr signifikant größere Gesamtsauerstoffschuld** ($P \leq 0,01$).

Zu den Sportarten **Skilanglauf** mit $9,1 \pm 1,9$ l STPD, **Tischtennis** mit $8,9 \pm 1,0$ l STPD und **Tauchen** mit $7,6 \pm 0,6$ l STPD ist die **Gesamtsauerstoffschuld** der **Handballspieler** **hoch signifikant größere** ($P \leq 0,001$).

Dagegen unterscheidet sich ihre **Gesamt-O₂-Schuld** zu den Sportarten **Triathlon**, **Fußball WM 74**, **Fußball WM 82**, **Eishockey**, **Turnen** und **Tennis** **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Andere Vergleiche bei der Gesamtsauerstoffschuld zwischen den einzelnen Sportarten sind nach den Angaben der Abb. 146 mit der dazugehörigen Tabelle leicht zu berechnen.

Gesamtsauerstoffschuld – Sportarten

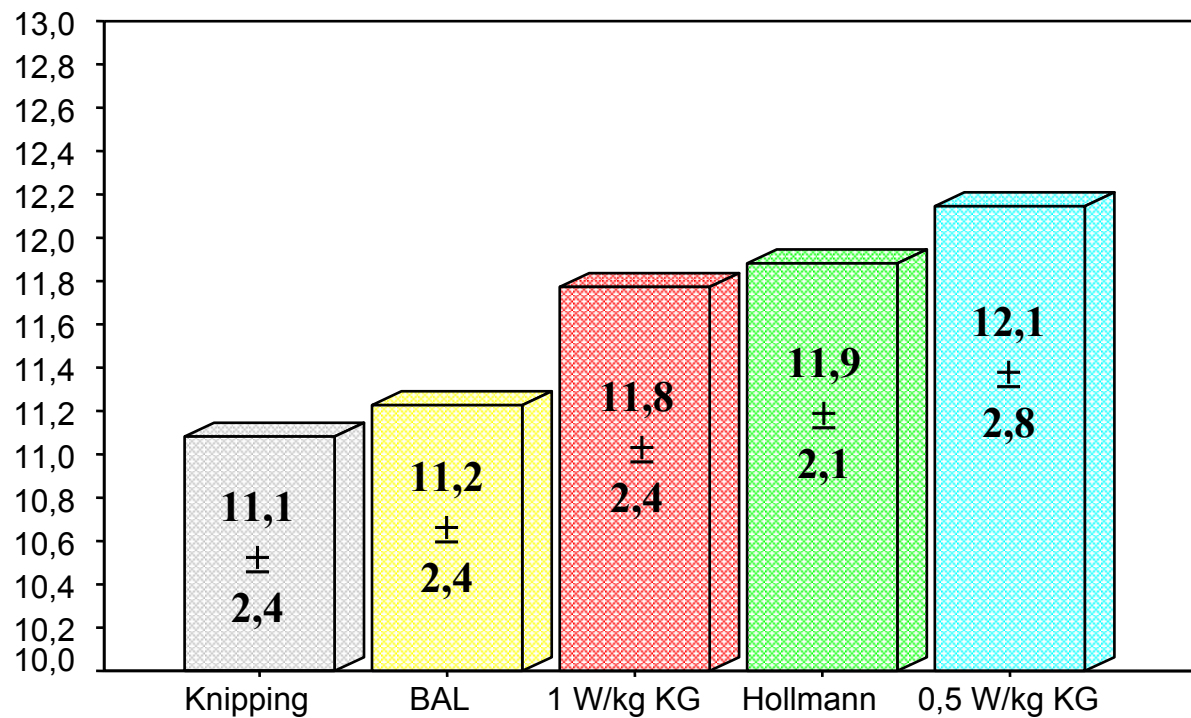


Sportart	Gesamtsauerstoffschuld l STPD		Sportart	Gesamtsauerstoffschuld l STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Handball	11	12,2 ± 2,6	Radfahren	9	10,2 ± 4,1
Triathlon	6	11,9 ± 1,7	Basketball	16	10,0 ± 1,8
Fußball WM 74	23	11,7 ± 2,6	Volleyball	10	10,0 ± 2,4
Fußball WM 82	15	11,1 ± 1,5	Bodybuilding	7	9,9 ± 2,6
Eishockey	10	10,7 ± 1,8	Leichtathletik	17	9,8 ± 1,8
Turnen	8	10,6 ± 2,0	Schwimmen	5	9,1 ± 3,9
Tennis	10	10,5 ± 1,9	Skilanglauf	9	9,1 ± 1,9
Rudern	10	10,4 ± 2,5	Tischtennis	12	8,9 ± 1,0
Badminton	11	10,3 ± 1,7	Boxen	5	8,8 ± 0,4
Fußball	21	10,3 ± 1,5	Tauchen	12	7,6 ± 0,6

Abb. 146: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffschuld (l STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamtsauerstoffschuld – Belastungsmethoden

$\dot{V}O_2$ l STPD



Gesamtsauerstoffschuld l STPD	Knipping	BAL	1 W/kg KG	Hollmann	0,5 W/kg KG
\bar{x}	11,1	11,2	11,8	11,9	12,1
$\pm 1s$	2,4	2,4	2,4	2,1	2,8
n	6	6	6	6	6

Abb. 147: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffschuld (l STPD) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtsauerstoffschuld** der **Elite-Ruderer** - Adam Achter - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 148 dargestellt.

Die **Gesamtsauerstoffschuld** beträgt **vor dem Höhenttraining** $12,6 \pm 3,1$ l STPD und **nach dem Höhenttraining** $16,0 \pm 2,6$ l STPD. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit $3,4$ l STPD ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

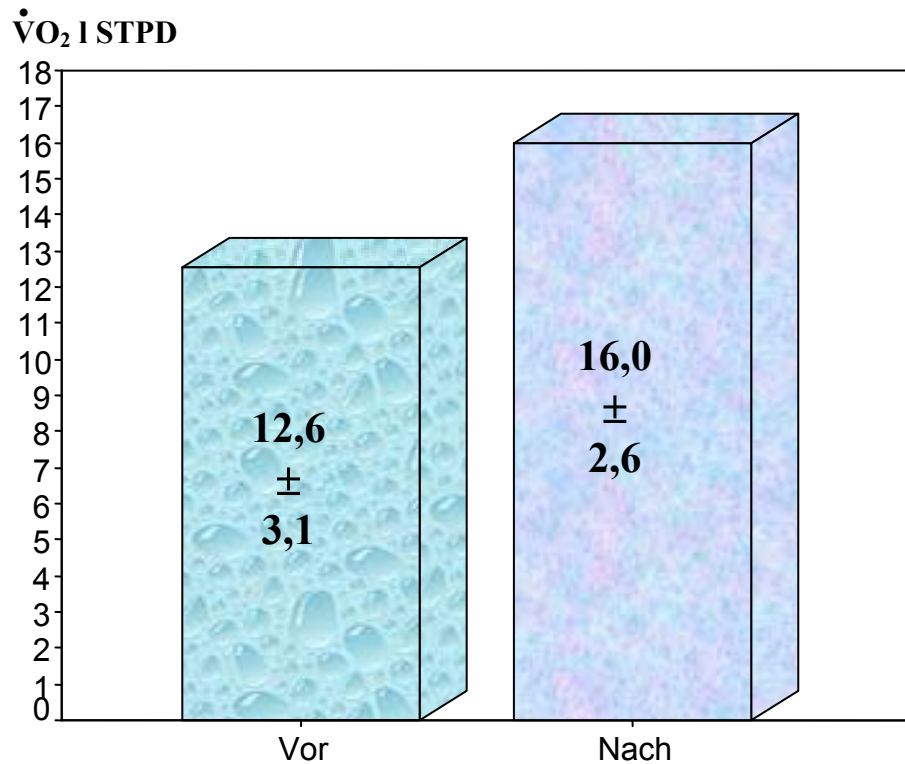
Das Ergebnis kann somit als eindeutiger Beweis für die **Steigerung** der **anaeroben Kapazität** der Ruderer durch das **Hypoxietraining** gewertet werden.

Im **Wettkampf** konnten dies die Elite-Ruderer des Deutschland-Achters durch eine **verbesserte Endspurtleistung** auf den letzten **500** Metern der **2000** Meter langen Regattastrecke bei den **Europameisterschaften** in **Klagenfurt** 1969 bzw. der internationalen Rotsee-Regatta 1970 in Luzern, wo der Adam-Achter **nach dem Höhenttraining** eine neue Weltbestzeit aufstellte, bestätigen (persönliche Mitteilung **P.E. NOWACKI**).

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtsauerstoffschuld** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 149 dargestellt.

Die **Gesamtsauerstoffschuld** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** $9,8 \pm 2,2$ l STPD und bei dem **Hollmann-Verfahren** $7,0 \pm 1,5$ l STPD. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit $2,8$ l STPD ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

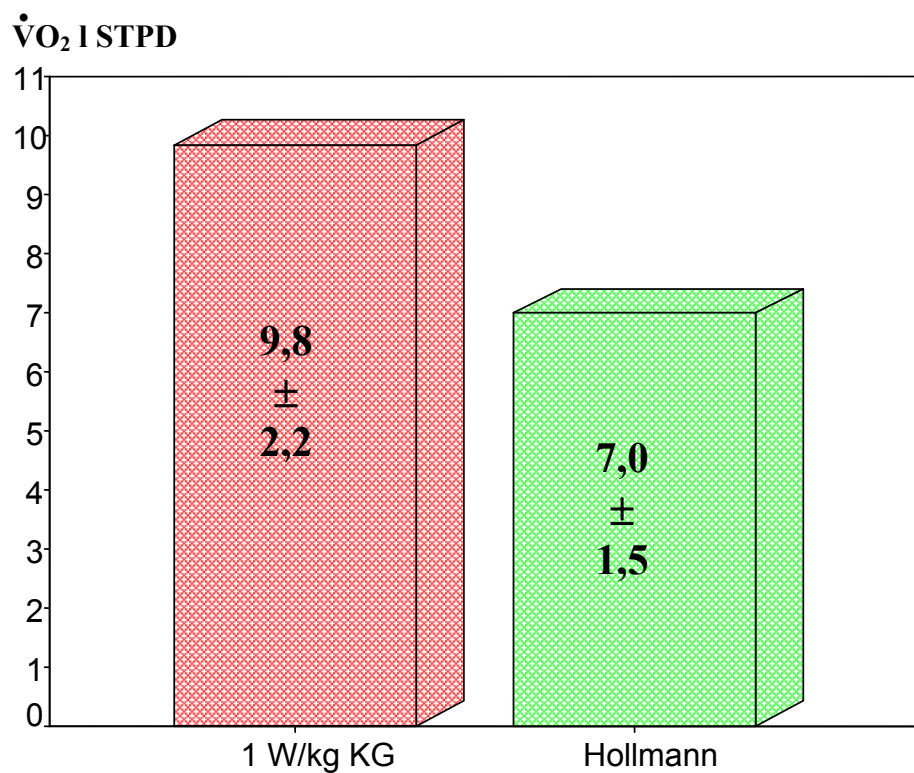
Gesamtsauerstoffschuld – Höhenttraining



Gesamtsauerstoffschuld l STPD	vor dem Höhentraining	nach dem Höhentraining
\bar{x}	12,6	16,0
$\pm 1s$	3,1	2,6
n	8	8

Abb. 148: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffschuld (l STPD) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamtsauerstoffschuld – Gruppe Athleten 2002

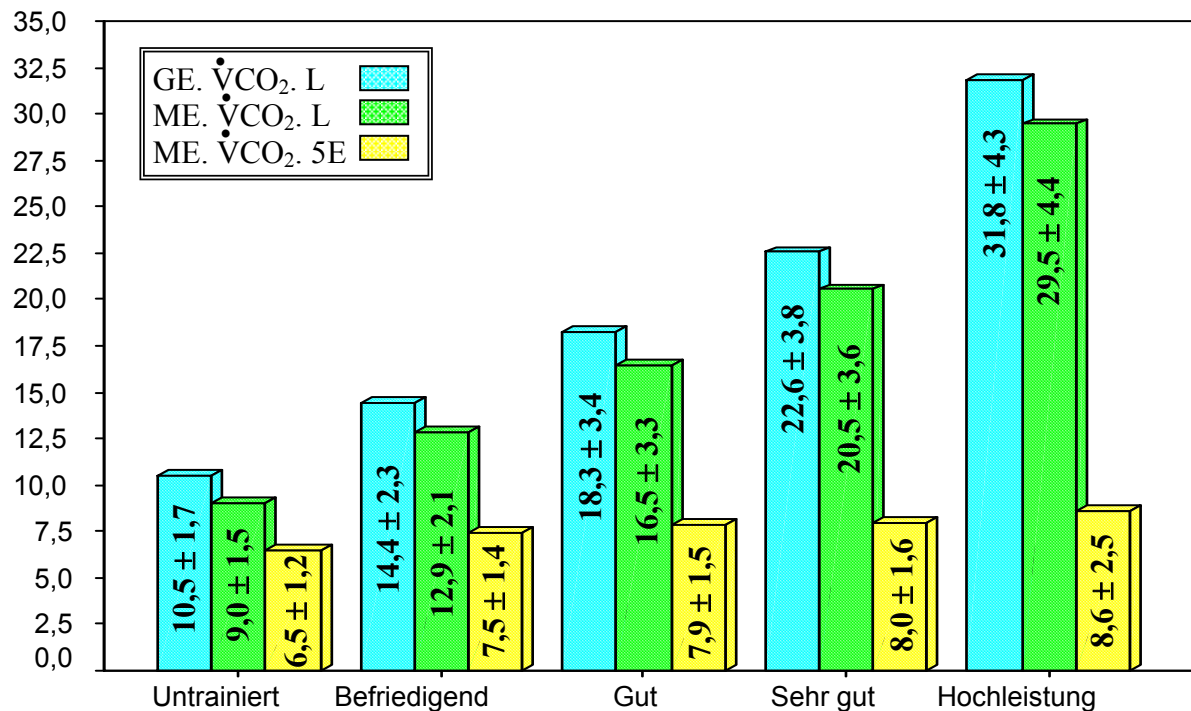


Gesamtsauerstoffschuld l STPD	1 W/kg KG	Hollmann
\bar{x}	9,8	7,0
$\pm 1s$	2,2	1,5
n	9	9

Abb. 149: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtsauerstoffschuld (l STPD) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamt- und Mehrkohlendioxidabgabe – Trainingszustand

$\dot{V}CO_2$ l STPD



Gruppe	n	Gesamt. $\dot{V}CO_2$. L	Mehr. $\dot{V}CO_2$. L	Mehr. $\dot{V}CO_2$. 5E
Untrainiert	25	10,5 ± 1,7	9,0 ± 1,5	6,5 ± 1,2
Befriedigend trainiert	54	14,4 ± 2,3	12,9 ± 2,1	7,5 ± 1,4
Gut trainiert	85	18,3 ± 3,4	16,5 ± 3,3	7,9 ± 1,5
Sehr gut trainiert	72	22,6 ± 3,8	20,5 ± 3,6	8,0 ± 1,6
Hochleistung	9	31,8 ± 4,3	29,5 ± 3,6	8,6 ± 2,5

Abb. 150: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtkohlendioxidabgabe (GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD), der Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrkohlendioxidabgabe** – berechnet aus der Differenz der Gesamtkohlendioxidabgabe minus der auch sonst in Ruhe stattfindenden **CO₂-Elimination** während der **Belastungszeit** – beträgt in der **Leistungsphase** bei der **untrainierten Gruppe** $9,0 \pm 1,5$ l STPD, der **befriedigend trainierten Gruppe** $12,9 \pm 2,1$ l STPD, der **gut trainierten Gruppe** $16,5 \pm 3,3$ l STPD, der **sehr gut trainierten Gruppe** $20,5 \pm 3,6$ l STPD und der **Hochleistungsgruppe** $29,5 \pm 4,4$ l STPD.

Die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) und der Tab. 55 zu entnehmen.

Tabelle 55: Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			3,9	***	7,5	***	11,5	***	20,5	***
Befriedigend					3,6	***	7,6	***	16,6	***
Gut							4,0	***	13,0	***
Sehr gut									9,0	***
Hochleistung										

In der **5-minütigen Erholungsphase** wurde die **Mehrkohlendioxidabgabe** bei der untrainierten Gruppe mit $6,5 \pm 1,2$ l STPD berechnet.

Die **befriedigend trainierte Gruppe** atmete $7,5 \pm 1,4$ l STPD Kohlendioxid aus. Der Unterschied zu den **untrainierten Männern** ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Die Mehrkohlendioxidabgabe der **gut trainierten Gruppe** mit $7,9 \pm 1,5$ l STPD, der **sehr gut trainierten Gruppe** mit $8,0 \pm 1,6$ l STPD und der **Hochleistungsgruppe** mit $8,6 \pm 2,5$ l STPD während der **5 Erholungsminuten** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) größer als bei den **Untrainierten**.

Die Unterschiede bei der Mehrkohlendioxidabgabe in der Erholungsphase zwischen den trainierten Gruppen sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$) und der Tab. 56 zu entnehmen.

Tabelle 56: Mehrkohlendioxidabgabe in der Erholungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppen	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			1,0	*	1,4	***	1,5	***	2,1	***
Befriedigend					0,4	ns	0,5	ns	1,1	*
Gut							0,1	ns	0,7	Ns
Sehr gut									0,6	Ns
Hochleistung										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtkohlendioxidabgabe** (**GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD**) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 151 dargestellt.

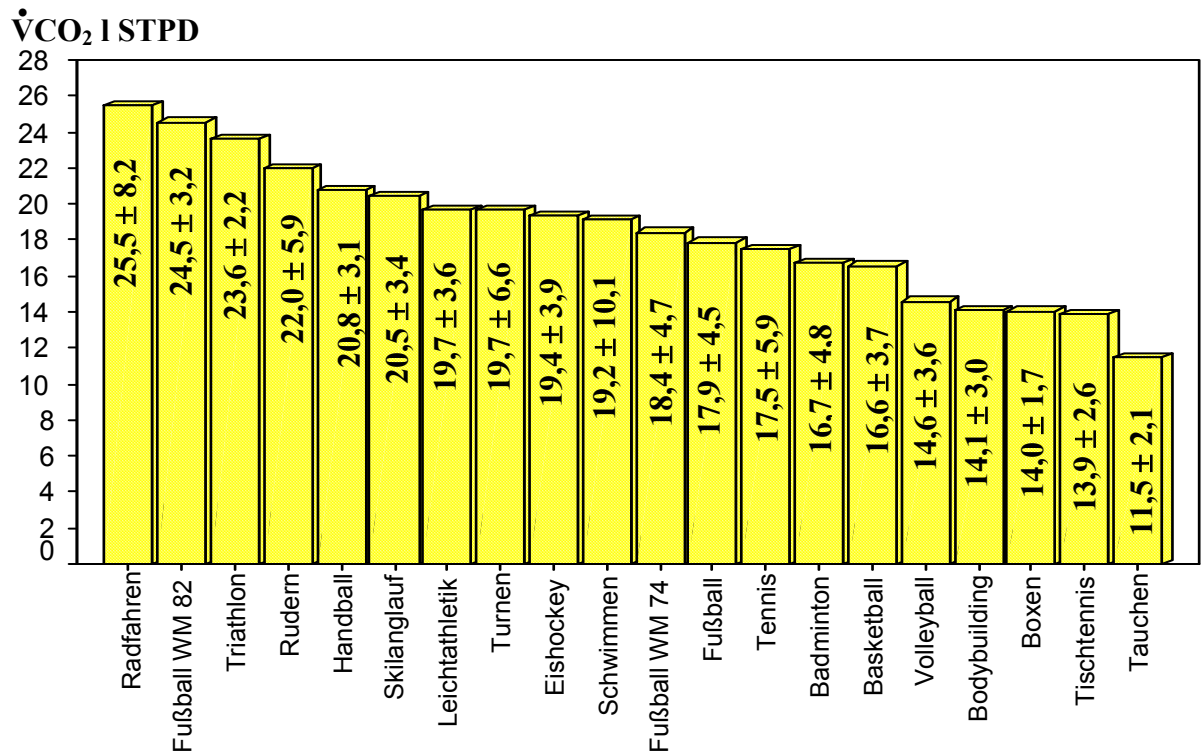
Die **Gesamtkohlendioxidabgabe** in der Leistungsphase bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Radfahrern** mit **25,5 ± 8,2 l STPD** am **höchsten** und bei den **Tauchern** mit **11,5 ± 2,1 l STPD** am **niedrigsten**.

Die **Gesamtkohlendioxydelimination** während der erschöpfenden spiroergometrischen **Leistungsphase** ist bei den **Straßenradfahrern** ca. **1-3 l** höher als bei der Gruppe **Fußball WM 82** mit **24,5 ± 3,2 l STPD**, den **Triathleten** mit **23,6 ± 2,2 l STPD** und den **Ruderern** mit **22,0 ± 5,9 l STPD**. Die Unterschiede sind **nicht signifikant** (**P > 0,05**).

Dagegen eliminieren die **Radfahrer** im Vergleich zu den **Handballspielern** mit **20,8 ± 3,1 l STPD**, den **Skilangläufern** mit **20,5 ± 3,4 l STPD** und den **Schwimmern** mit **19,2 ± 10,1 l STPD** **signifikant** (**P ≤ 0,05**) mehr **Kohlendioxid**.

Die **Gesamtkohlendioxidabatemung** der **Ausdauer-Kraft-Sportler** vom Radfahren ist dagegen im Vergleich zu den **Leichtathleten** mit **19,7 ± 3,6 l STPD**, zu den **Turnern** mit **19,7 ± 6,6 l STPD**, zu den **Eishockeyspielern** mit **19,4 ± 3,9 l STPD** **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**), und zu allen anderen Sportarten **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**) größer.

Gesamtkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase – Sportarten



Sportart	Gesamt. $\dot{V}CO_2$. L l STPD		Sportart	Gesamt. $\dot{V}CO_2$. L l STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	25,5 ± 8,2	Fußball WM 74	23	18,4 ± 4,7
Fußball WM 82	15	24,5 ± 3,2	Fußball	21	17,9 ± 4,5
Triathlon	6	23,6 ± 2,2	Tennis	10	17,5 ± 5,9
Rudern	10	22,0 ± 5,9	Badminton	11	16,7 ± 4,8
Handball	11	20,8 ± 3,1	Basketball	16	16,6 ± 3,7
Skilanglauf	9	20,5 ± 3,4	Volleyball	10	14,6 ± 3,6
Leichtathletik	17	19,7 ± 3,6	Bodybuilding	7	14,1 ± 3,0
Turnen	8	19,7 ± 6,6	Boxen	5	14,0 ± 1,7
Eishockey	10	19,4 ± 3,9	Tischtennis	12	13,9 ± 2,6
Schwimmen	5	19,2 ± 10,1	Tauchen	12	11,5 ± 2,1

Abb. 151: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtkohlendioxidabgabe (GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Mehrkohlendioxidabgabe** (**ME. $\dot{V}CO_2$. L 1 STPD**) – berechnet aus der Differenz zwischen der Gesamtkohlendioxidelimination in der Leistungsphase minus der Ruhekohlendioxidabatmung mal der individuellen Belastungszeit – der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 152 dargestellt.

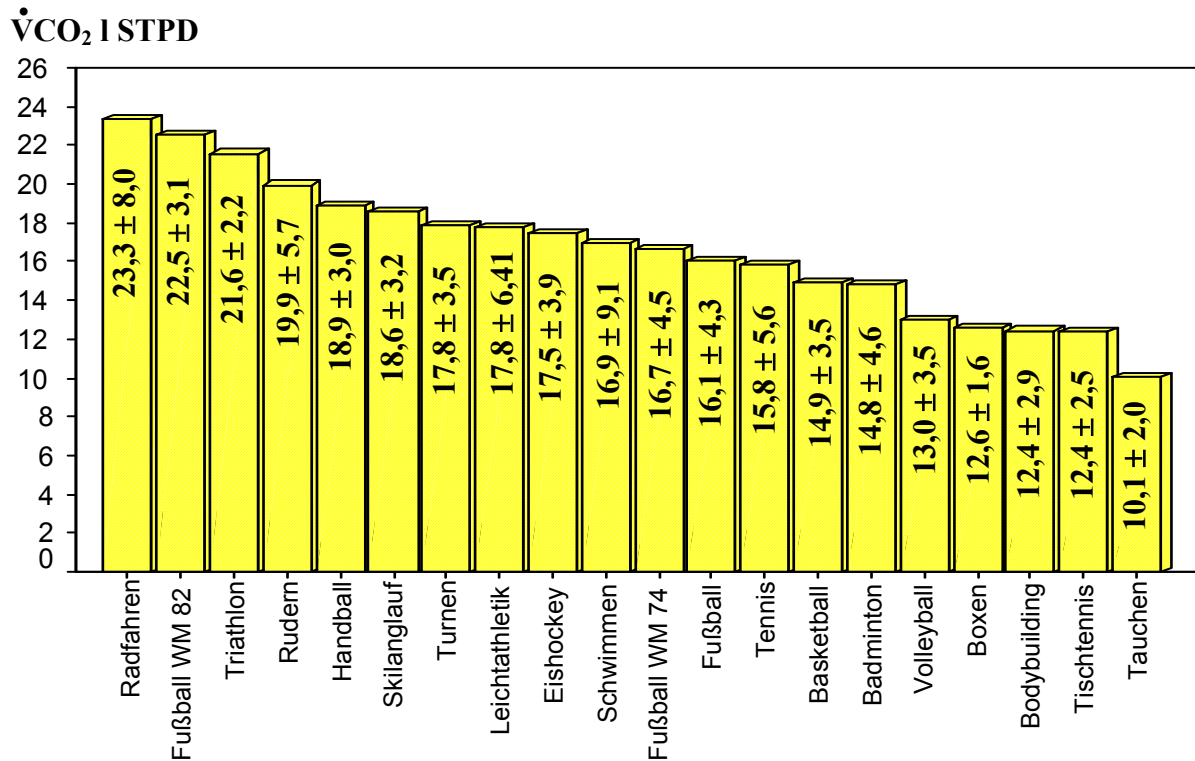
Die **Mehrkohlendioxidabgabe** in der **Leistungsphase** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist bei den **Radfahrern** mit **23,3 ± 8,0 l STPD** am **höchsten** und bei den **Tauchern** mit **10,1 ± 2,0 l STPD** am **niedrigsten**.

Die **Mehrkohlendioxydelimination** während der erschöpfenden spiroergometrischen **Leistungsphase** ist bei den **Straßenradfahrern** ca. **0,8-3,4 l** höher als bei der Gruppe **Fußball WM 82** mit **22,5 ± 3,1 l STPD**, den **Triathleten** mit **21,6 ± 2,2 l STPD** und den **Ruderern** mit **19,9 ± 5,7 l STPD**. Die Unterschiede sind **nicht signifikant** (**P > 0,05**).

Dagegen eliminieren die **Radfahrer** im Vergleich zu den **Handballspielern** mit **18,9 ± 3,0 l STPD**, den **Skilangläufern** mit **18,6 ± 3,2 l STPD** und den **Schwimmern** mit **16,9 ± 9,1 l STPD** **signifikant** (**P ≤ 0,05**) mehr **Kohlendioxid**.

Die **Mehrkohlendioxidabatmung** der **Ausdauer-Kraft-Sportler** vom **Radfahren** ist dagegen im Vergleich zu den **Leichtathleten** mit **17,8 ± 3,5 l STPD**, zu den **Turnern** mit **17,8 ± 6,4 l STPD**, zu den **Eishockeyspielern** mit **17,5 ± 3,9 l STPD** **sehr signifikant** (**P ≤ 0,01**), und zu allen anderen Sportarten **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**) größer.

Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsperiode – Sportarten



Sportart	Mehr. $\dot{V}CO_2$. L l STPD		Sportart	Mehr. $\dot{V}CO_2$. L l STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Radfahren	9	23,3 ± 8,0	Fußball WM 74	23	16,7 ± 4,5
Fußball WM 82	15	22,5 ± 3,1	Fußball	21	16,1 ± 4,3
Triathlon	6	21,6 ± 2,2	Tennis	10	15,8 ± 5,6
Rudern	10	19,9 ± 5,7	Basketball	16	14,9 ± 3,5
Handball	11	18,9 ± 3,0	Badminton	11	14,8 ± 4,6
Skilanglauf	9	18,6 ± 3,2	Volleyball	10	13,0 ± 3,5
Turnen	8	17,8 ± 6,4	Boxen	5	12,6 ± 1,6
Leichtathletik	17	17,8 ± 3,5	Bodybuilding	7	12,4 ± 2,9
Eishockey	10	17,5 ± 3,9	Tischtennis	12	12,4 ± 2,5
Schwimmen	5	16,9 ± 9,1	Tauchen	12	10,1 ± 2,0

Abb. 152: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mehrkohlendioxidabgabe (ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Mehrkohlendioxidabgabe** (**ME. $\dot{V}CO_2$. E5 l STPD**) der Probanden aus **verschiedenen Sportarten** nach 5 Minuten Erholung bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener **1 W/kg KG-Methode** sind in der Abb. 153 dargestellt.

Nach 5 Minuten Erholung ist die **Mehrkohlendioxidabgabe** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** bei den **Handballspielern** mit **$9,8 \pm 1,1$ STPD** am **größten** und bei den **Tauchern** mit **$6,2 \pm 0,6$ l STPD** am **niedrigsten**.

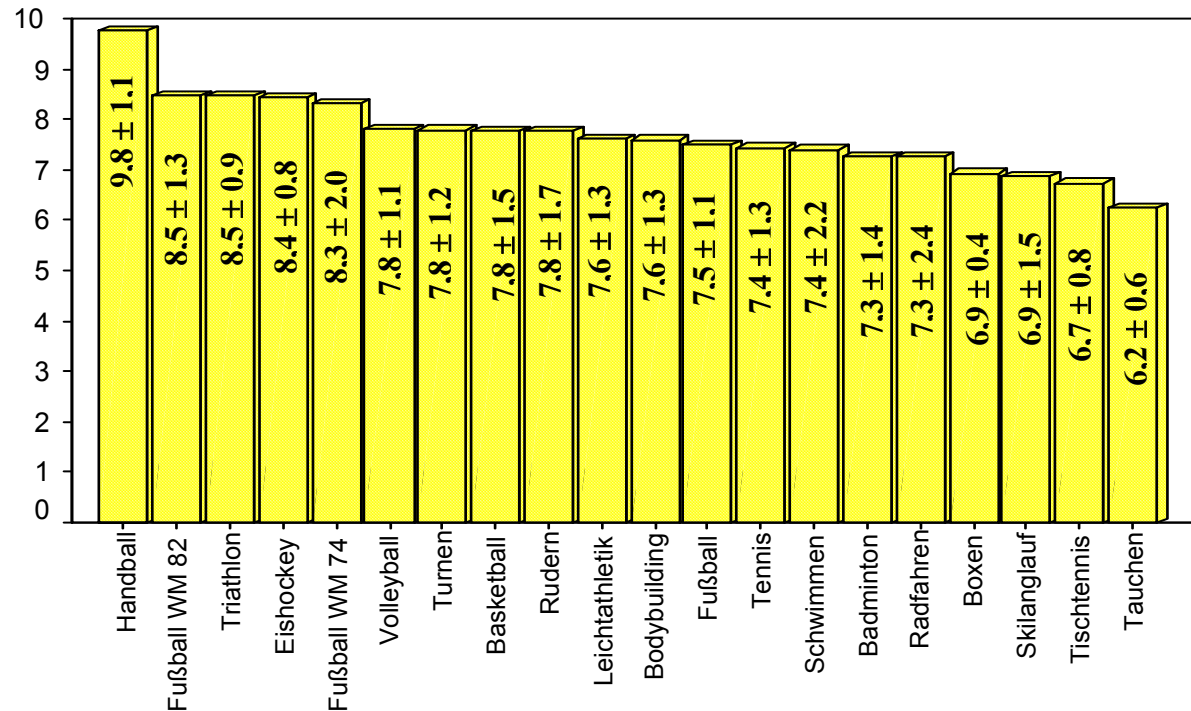
Die im Unterschied zur Ruhe in den 5 Minuten Erholung nach der körperlichen Ausbelastung überschüssige Kohlendioxidabatemung der **Handballspieler** ist im Vergleich zur **Mehr-CO₂-Elimination** der **Triathleten** mit **$8,5 \pm 0,9$ l STPD** **nicht signifikant** höher (**$P > 0,05$**).

Dagegen ist sie zu den **Eishockeyspielern** mit **$8,4 \pm 0,8$ l STPD**, zu der Gruppe **Fußball WM 82** mit **$8,5 \pm 1,3$ l STPD** **signifikant** (**$P \leq 0,05$**), zur **Fußballweltmeistermannschaft Deutschland 1974** mit **$8,3 \pm 2,0$ l STPD**, zu den **Schwimmern** mit **$7,4 \pm 2,2$ l STPD** und zu den **Turnern** mit **$7,8 \pm 1,2$ l STPD** **sehr signifikant** (**$P \leq 0,01$**) größer.

Die überschüssige **E5-CO₂-Abatemung** der schwergewichtigen **Handballspieler** ist im Vergleich zu allen **anderen Sportarten** **hoch signifikant** (**$P \leq 0,001$**) größer.

Mehrkohlendioxidabgabe in der Erholungsphase – Sportarten

$\dot{V}CO_2$ l STPD

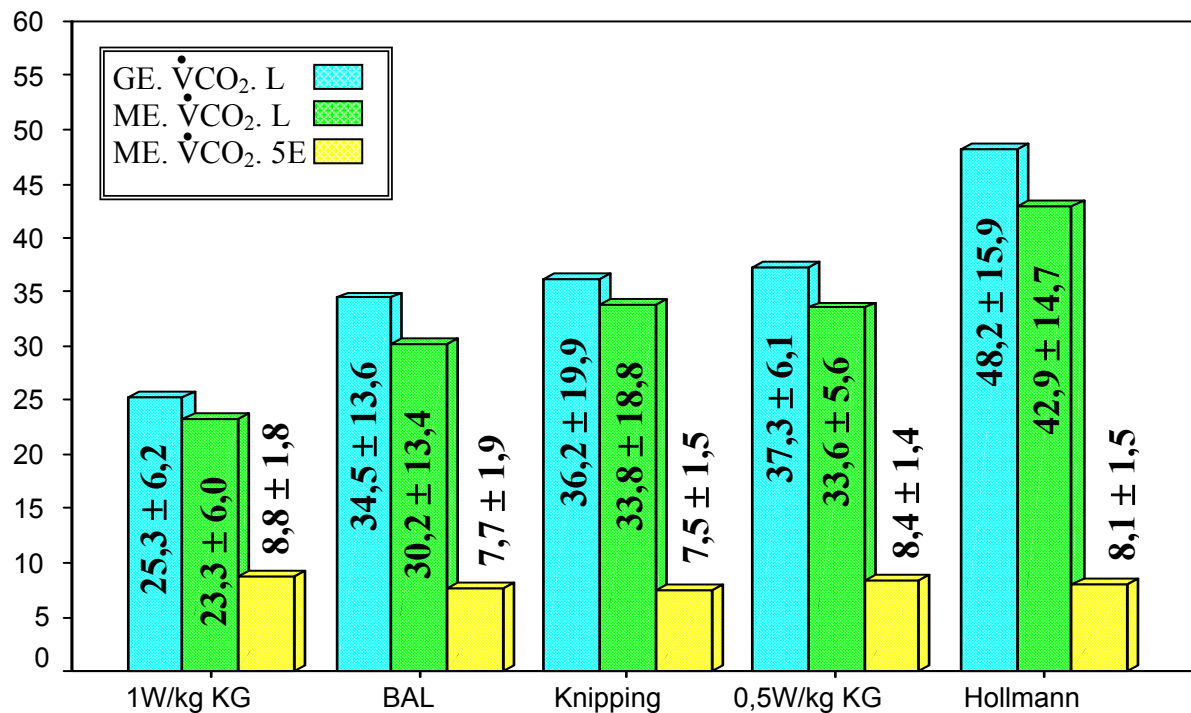


Sportart	Mehr. $\dot{V}CO_2$. E5 l STPD		Sportart	Mehr. $\dot{V}CO_2$. E5 l STPD	
	n	M ± s		n	M ± s
Handball	11	9,8 ± 1,1	Bodybuilding	7	7,6 ± 1,3
Fußball WM 82	15	8,5 ± 1,3	Fußball	21	7,5 ± 1,1
Triathlon	6	8,5 ± 0,9	Tennis	10	7,4 ± 1,3
Eishockey	10	8,4 ± 0,8	Schwimmen	5	7,4 ± 2,2
Fußball WM 74	23	8,3 ± 2,0	Badminton	11	7,3 ± 1,4
Volleyball	10	7,8 ± 1,1	Radfahren	9	7,3 ± 2,4
Turnen	8	7,8 ± 1,2	Boxen	5	6,9 ± 0,4
Basketball	16	7,8 ± 1,5	Skilanglauf	9	6,9 ± 1,5
Rudern	10	7,8 ± 1,7	Tischtennis	12	6,7 ± 0,8
Leichtathletik	17	7,6 ± 1,3	Tauchen	12	6,2 ± 0,6

Abb. 153: Mittelwerte und Standardabweichungen der Mehrkohlendioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$, 5E l STPD) der Probanden von verschiedenen Sportarten nach 5 Minuten Erholung bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Gesamt- und Mehrkohlendioxidabgabe – Belastungsmethoden

$\dot{V}CO_2$ l STPD



Methode	n	Gesamt. $\dot{V}CO_2$. L l STPD	Mehr. $\dot{V}CO_2$. L l STPD	Mehr. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD
1 W/kg KG	6	25,3 ± 6,2	23,3 ± 6,0	8,8 ± 1,8
BAL	6	34,5 ± 13,6	30,2 ± 13,4	7,7 ± 1,9
Knipping	6	36,2 ± 19,9	33,8 ± 18,8	7,5 ± 1,5
0,5 W/kg KG	6	37,3 ± 6,1	33,6 ± 5,6	8,4 ± 1,4
Hollmann	6	48,2 ± 15,9	42,9 ± 14,7	8,1 ± 1,5

Abb. 154: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtkohlendioxidabgabe (GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD), der Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mehrkohlendioxidabgabe** in der **Leistungsphase** ist beim **Hollmann-Verfahren** mit $42,9 \pm 14,7$ l STPD am **größten** und bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $23,3 \pm 6,0$ l STPD am **niedrigsten**.

Die **Mehr-CO₂-Elimination** mit $19,6$ l STPD beim **Hollmann-Verfahren** ist im Vergleich zur **1 W/kg KG-Methode** **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) größer. Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden bei der Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase sind der Tab. 58 zu entnehmen.

Tabelle 58: Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	1 W/kg KG		BAL		0,5 W/kg KG		Knipping		Hollmann	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
1 W/kg KG			6,9	ns	10,3	ns	10,5	ns	19,6	*
BAL					3,4	ns	3,6	ns	12,7	ns
0,5 W/kg KG							0,2	ns	9,3	ns
Knipping									9,1	ns
Hollmann										

In der **5-minütigen Erholungsphase** ist die **Mehrkohlendioxidabgabe** bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $8,8 \pm 1,8$ l STPD am **größten** und beim **Knipping-Verfahren** mit $7,5 \pm 1,5$ l STPD am **niedrigsten**. Die Unterschiede zwischen allen anderen Belastungsmethoden sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Einzelheiten zwischen den Methoden bei der Mehrkohlendioxidabgabe in der Erholungsphase sind der Tab. 59 zu entnehmen.

Tabelle 59: Mehrkohlendioxidabgabe in der Erholungsphase - Differenzen und Signifikanzen zwischen den Methoden

Methode	Knipping		BAL		Hollmann		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Knipping			0,2	ns	0,6	ns	0,9	ns	1,3	ns
BAL					0,4	ns	0,7	ns	1,1	ns
Hollmann							0,3	ns	0,7	ns
0,5 W/kg KG									0,4	ns
1 W/kg KG										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtkohlendioxidabgabe** (**GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD**), die **Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD**) der **Elite-Ruderer - Adam Achter** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der von **NOWACKI** inaugurierten **Ratzeburger ergometrischen Methode** für **Ruderer** sind in der Abb. 155 dargestellt.

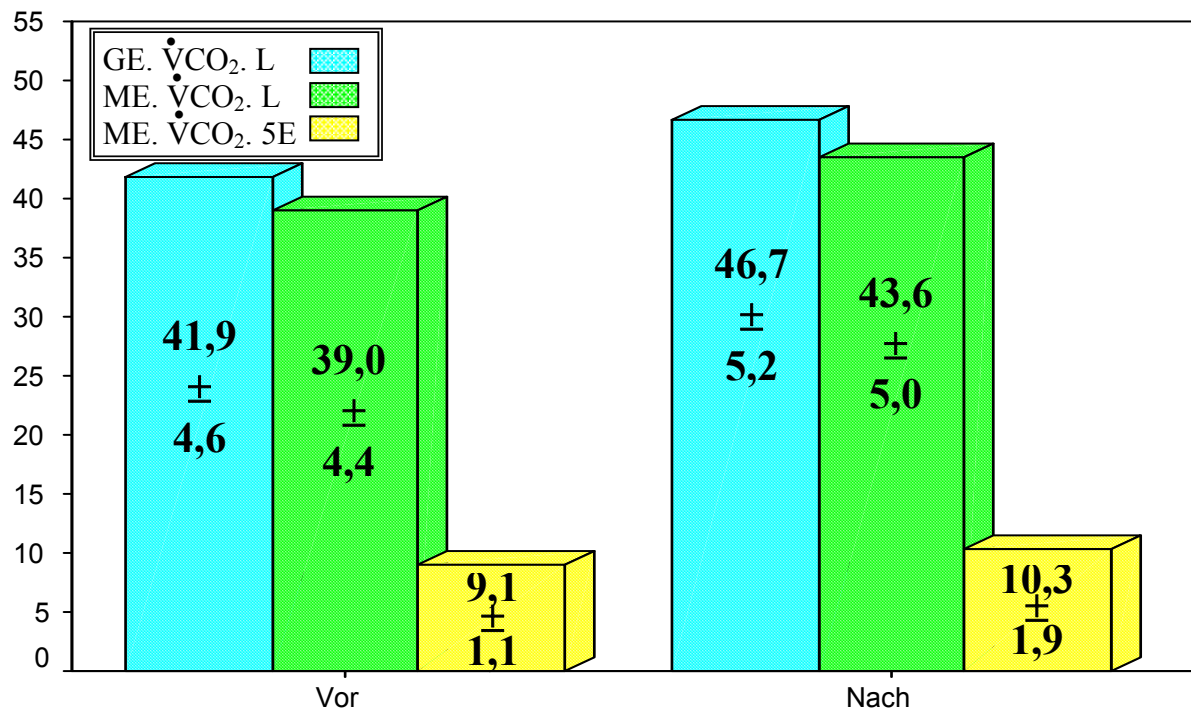
Die **Kohlendioxidabgabe in der Leistungsphase vor dem Höhenttraining** beträgt **41,9 ± 4,6 l SPTD** und **nach dem Höhenttraining** **46,7 ± 5,2 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **4,8 l STPD** ist **nicht signifikant** (**P > 0,05**).

Die **Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase vor dem Höhenttraining** beträgt **39,0 ± 4,4 l SPTD** und **nach dem Höhenttraining** **43,6 ± 5,0 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **4,6 l STPD** ist **nicht signifikant** (**P > 0,05**).

In der **Erholungsphase** beträgt die **Mehrkohlendioxidabgabe vor dem Höhenttraining** **9,1 ± 1,1 l SPTD** und **nach dem Höhenttraining** **10,3 ± 1,9 l STPD**. Der Unterschied **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **1,2 l STPD** ist **nicht signifikant** (**P > 0,05**).

Gesamt- und Mehrkohlendioxidabgabe – Höhenttraining

$\dot{V}CO_2$ l STPD



$\dot{V}CO_2$ l STPD	n	vor dem Höhenttraining	nach dem Höhenttraining
Gesamt. $\dot{V}CO_2$. L	8	41,9 ± 4,6	46,7 ± 5,2
Mehr. $\dot{V}CO_2$. L	8	39,0 ± 4,4	43,6 ± 5,0
Mehr. $\dot{V}CO_2$. 5E	8	9,1 ± 1,1	10,3 ± 1,9

Abb. 155: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtkohlendioxidabgabe (GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD), der Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m) mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Gesamtkohlendioxidabgabe** (**GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD**), die **Mehrkohlendioxidabgabe** in der **Leistungsphase** (**ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD**) und der **5-minütigen Erholungsphase** (**ME. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD**) der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 156 dargestellt.

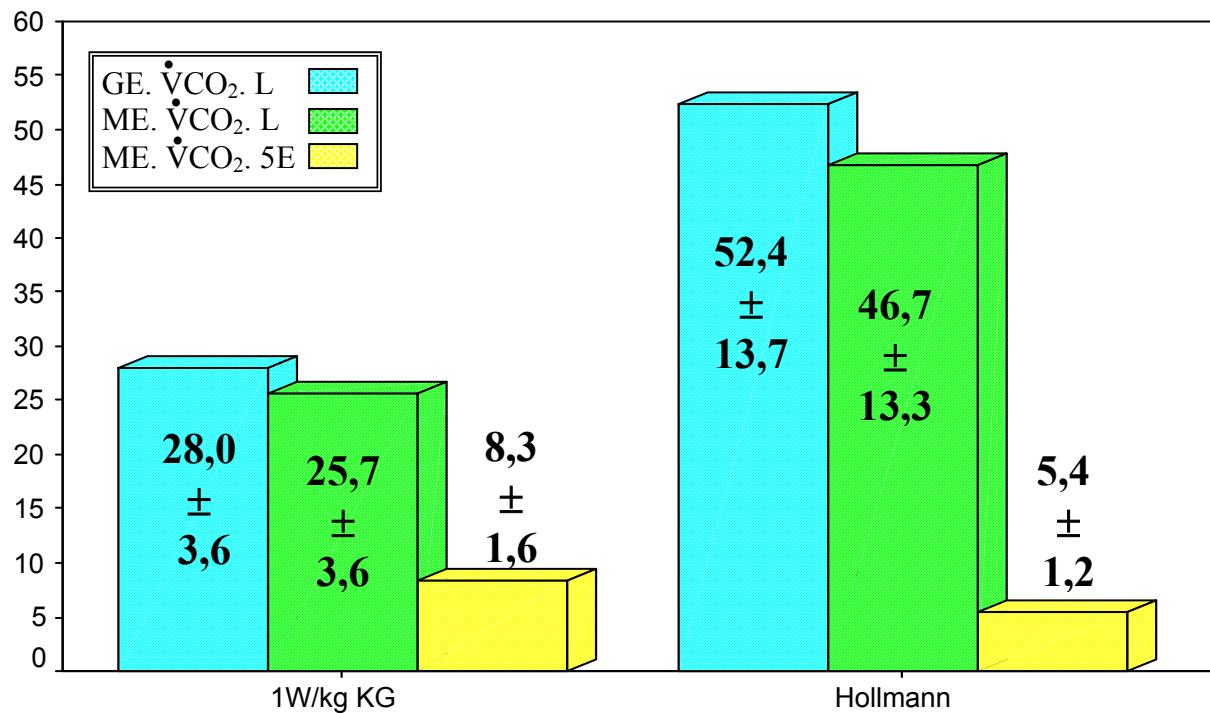
In der **Leistungsphase** beträgt die **Gesamtkohlendioxidabgabe** bei der **1 W/kg KG-Methode** **$28,0 \pm 3,6$ l STPD** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **$52,4 \pm 13,7$ l STPD**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **$24,5$ l STPD** ist **hoch signifikant** (**$P \leq 0,001$**).

Die **Mehrkohlendioxidabgabe** in der **Leistungsphase** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** **$25,7 \pm 3,6$ l STPD** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **$46,7 \pm 13,3$ l STPD**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **$20,9$ l STPD** ist ebenfalls **hoch signifikant** (**$P \leq 0,001$**).

Die **Mehrkohlendioxidabgabe** in der **5-minütigen Erholungsphase** beträgt bei der **1 W/kg KG-Methode** **$8,3 \pm 1,6$ l STPD** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **$5,4 \pm 1,2$ l STPD**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **$2,9$ l STPD** ist auch bei diesem Parameter **hoch signifikant** (**$P \leq 0,01$**).

Gesamt- und Mehrkohlendioxidabgabe – Gruppe Athleten 2002

$\dot{V}CO_2$ l STPD

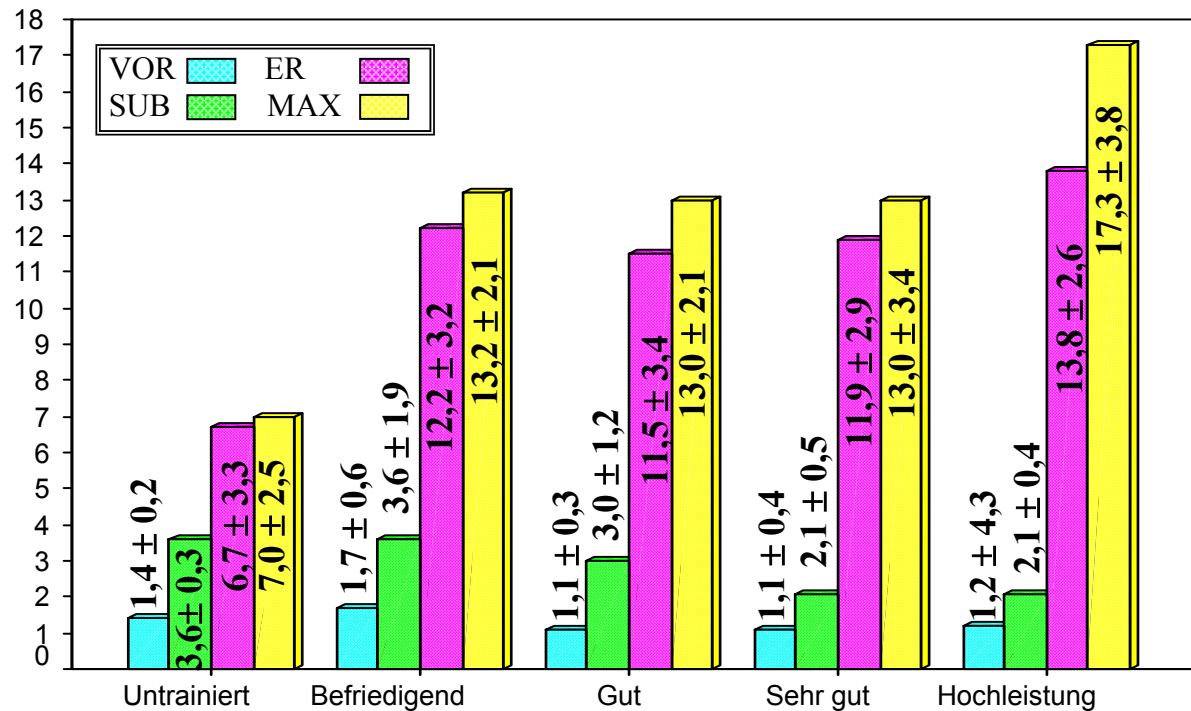


$\dot{V}CO_2$ l STPD	n	1 W/kg KG	Hollmann
Gesamt. $\dot{V}CO_2$. L	9	28,0 ± 3,6	52,4 ± 13,7
Mehr. $\dot{V}CO_2$. L	9	25,7 ± 3,6	46,7 ± 13,3
Mehr. $\dot{V}CO_2$. 5E	9	8,3 ± 1,6	5,4 ± 1,2

Abb. 156: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtkohlendioxidabgabe (GE. $\dot{V}CO_2$. L l STPD), der Mehrkohlendioxidabgabe in der Leistungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. L l STPD) und der 5-minütigen Erholungsphase (ME. $\dot{V}CO_2$. 5E l STPD) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Laktat – Trainingszustand

Laktat mmol/l



Gruppe	n	Laktat Vor Belastung mmol/l	Laktat Submaximal mmol/l	Laktat Erschöpfung mmol/l	Laktat Maximal mmol/l
Untrainiert	25	1,4 ± 0,2	3,6 ± 0,3	6,7 ± 3,3	7,0 ± 2,5
Befriedigend trainiert	54	1,7 ± 0,6	3,6 ± 1,9	12,2 ± 3,2	13,2 ± 2,1
Gut trainiert	85	1,1 ± 0,3	3,0 ± 1,2	11,5 ± 3,4	13,0 ± 2,1
Sehr gut trainiert	72	1,1 ± 0,4	2,1 ± 0,5	11,9 ± 2,9	13,0 ± 3,4
Hochleistung	9	1,2 ± 0,2	2,1 ± 0,4	13,8 ± 2,6	17,3 ± 3,8

Abb. 157: Mittelwerte und Standardabweichungen des Laktats (mmol/l) vor, während und nach der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Der **submaximale Laktatwert** in der **4. Belastungsminute** ist bei der **sehr gut trainierten Gruppe** mit $2,1 \pm 0,5$ mmol/l im Vergleich zur **untrainierten Gruppe** mit $3,6 \pm 0,3$ mmol/l, zur **befriedigend trainierten Gruppe** mit $3,6 \pm 1,9$ mmol/l und zur **gut trainierten Gruppe** mit $3,0 \pm 1,2$ mmol/l **signifikant** ($P \leq 0,05$) niedriger.

Auch bei der **Hochleistungsgruppe** mit $2,1 \pm 0,4$ mmol/l ist im Vergleich zur **untrainierten Gruppe** und zur **befriedigend trainierten Gruppe** der submaximale Laktatwert **signifikant** ($P \leq 0,05$) niedriger. Die Unterschiede zwischen allen anderen Gruppen sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen für die submaximalen Laktatwerte sind der Tab. 61 zu entnehmen.

Tabelle 61: Submaximale Laktatwerte - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppe	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			0,0	ns	0,6	ns	1,5	*	1,5	*
Befriedigend					0,6	ns	1,5	*	1,5	*
Gut							0,9	*	0,9	ns
Sehr gut									0,0	ns
Hochleistung										

Unmittelbar nach der **letzten erschöpfenden Belastungsminute** (“Sofortwert“) bestimmten wir für die **untrainierte Gruppe** einen **Laktatwert** von $6,7 \pm 3,3$ mmol/l.

Dieser liegt im Vergleich zum Sofortwert der **sehr gut trainierten Gruppe** mit $11,9 \pm 3,9$ mmol/l und zur **Hochleistungsgruppe** mit $13,8 \pm 2,6$ mmol/l, also durchschnittlich um **5,2** bzw. **7,1 mmol/l signifikant** ($P \leq 0,05$) tiefer. Die Unterschiede zwischen den **trainierten Gruppen** sind beim Erschöpfungs-Laktatwert **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei den erschöpfende Laktatwerten sind der Tab. 62 zu entnehmen.

Tabelle 62: Erschöpfende Laktatwerte - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Gruppen

Gruppen	Untrainiert		Befriedigend		Gut		Sehr gut		Hochleistung	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Untrainiert			5,5	ns	4,8	ns	5,2	*	7,1	*
Befriedigend					0,7	ns	0,3	ns	1,6	ns
Gut							0,4	ns	2,3	ns
Sehr gut									1,9	ns
Hochleistung										

Die höchsten, d. h. **Maximal-Laktatwerte**, wurden auch von uns in Übereinstimmung mit der einschlägigen Literatur in der in der 3. Erholungsminute gemessen.

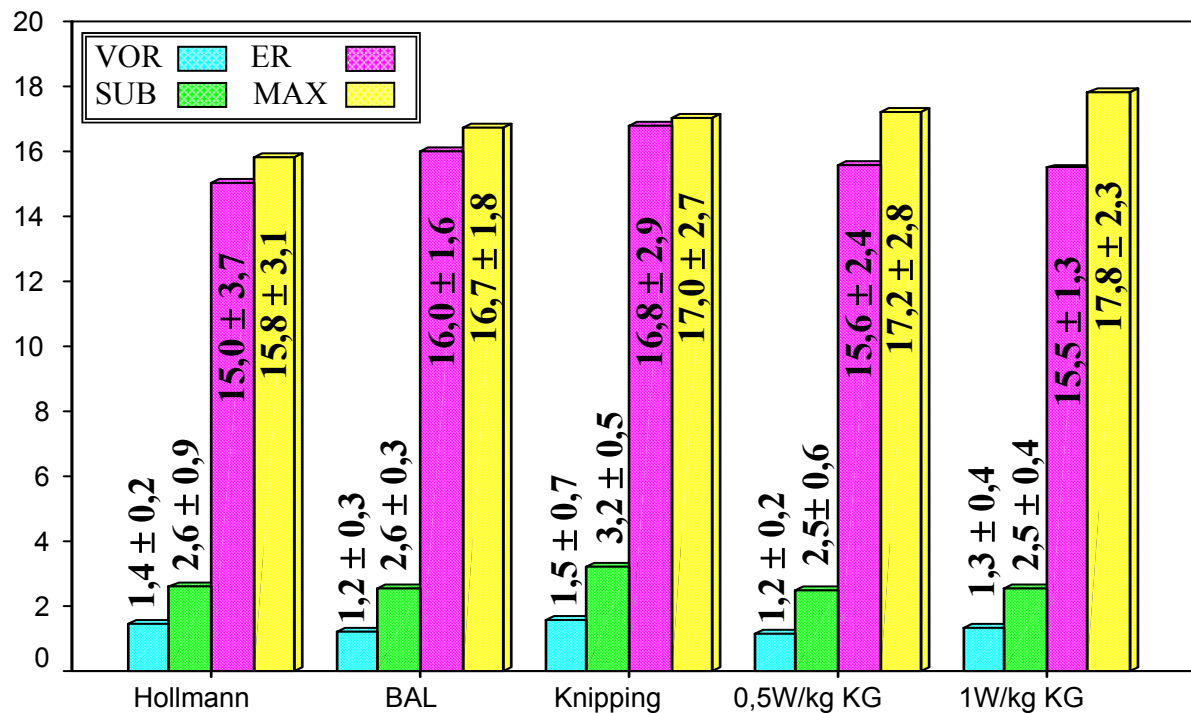
Die **maximalen Laktatwerte** der **untrainierten Gruppe** lagen mit $7,0 \pm 2,5$ mmol/l im Vergleich zur **befriedigend trainierten Gruppe** mit $13,2 \pm 2,1$ mmol/l **signifikant** ($P \leq 0,05$), zur **gut trainierten Gruppe** mit $13,0 \pm 2,1$ mmol/l und zur **sehr gut trainierten Gruppe** mit $13,0 \pm 3,4$ mmol/l **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$) niedriger. Der Unterschied von $10,3$ mmol/l zur **Hochleistungsgruppe** mit $17,3 \pm 3,8$ mmol/l ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$). Die höhere Azidose der **Hochleistungsgruppe** mit $4,3$ mmol/l Laktat ist im Vergleich zur **gut trainierten Gruppe** **signifikant** ($P \leq 0,05$) und zur **sehr gut trainierten Gruppe** mit dem identischen Unterschiedswert **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

Die Unterschiede zwischen den **befriedigend bis sehr gut trainierten Gruppen** sind **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Gruppen bei den maximalen Laktatwerten sind der Tab. 63 zu entnehmen.

Laktat – Belastungsmethoden

Laktat mmol/l



Methode	n	Laktat Vor Belastung mmol/l	Laktat Submaximal mmol/l	Laktat Erschöpfung mmol/l	Laktat Maximal mmol/l
Hollmann	6	1,4 ± 0,2	2,6 ± 0,9	15,0 ± 3,7	15,8 ± 3,1
BAL	6	1,2 ± 0,3	2,6 ± 0,3	16,0 ± 1,6	16,7 ± 1,8
Knipping	6	1,5 ± 0,7	3,2 ± 0,5	16,8 ± 2,9	17,0 ± 2,7
0,5 W/kg KG	6	1,2 ± 0,2	2,5 ± 0,6	15,6 ± 2,4	17,2 ± 2,8
1 W/kg KG	6	1,3 ± 0,4	2,5 ± 0,4	15,5 ± 1,3	17,8 ± 2,3

Abb. 158: Mittelwerte und Standardabweichungen des Laktats (mmol/l) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Der **Maximal-Laktatwert** bei der **1 W/kg KG-Methode** ist am Ende der 3. Erholungsminute mit $17,8 \pm 2,3$ mmol/l am **höchsten** und beim **Hollmann-Verfahren** mit $15,8 \pm 3,1$ mmol/l am **niedrigsten**. Der Unterschied mit **2 mmol/l** im Sinne einer größeren Azidose bei der **1 W/kg KG-Methode** ist nicht signifikant ($P > 0,05$).

Die weiteren Unterschiede und Signifikanzen zwischen den Methoden beim Maximal-Laktatwert sind der Tab. 67 zu entnehmen.

Tabelle 67: Maximal-Laktatwerte - Differenzen mit Signifikanzen zwischen den Methoden

Methoden	Hollmann		BAL		Knipping		0,5 W/kg KG		1 W/kg KG	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Hollmann			0,9	ns	1,2	ns	1,4	ns	2,0	ns
BAL					0,3	ns	0,5	ns	1,1	ns
Knipping							0,2	ns	0,8	ns
0,5 W/kg KG									0,6	ns
1 W/kg KG										

Die **Mittelwerte** und Standardabweichungen für die **Laktatwerte** der **sehr gut trainierten** Probanden - **Athleten 2002** - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** sind in der Abb. 159 dargestellt.

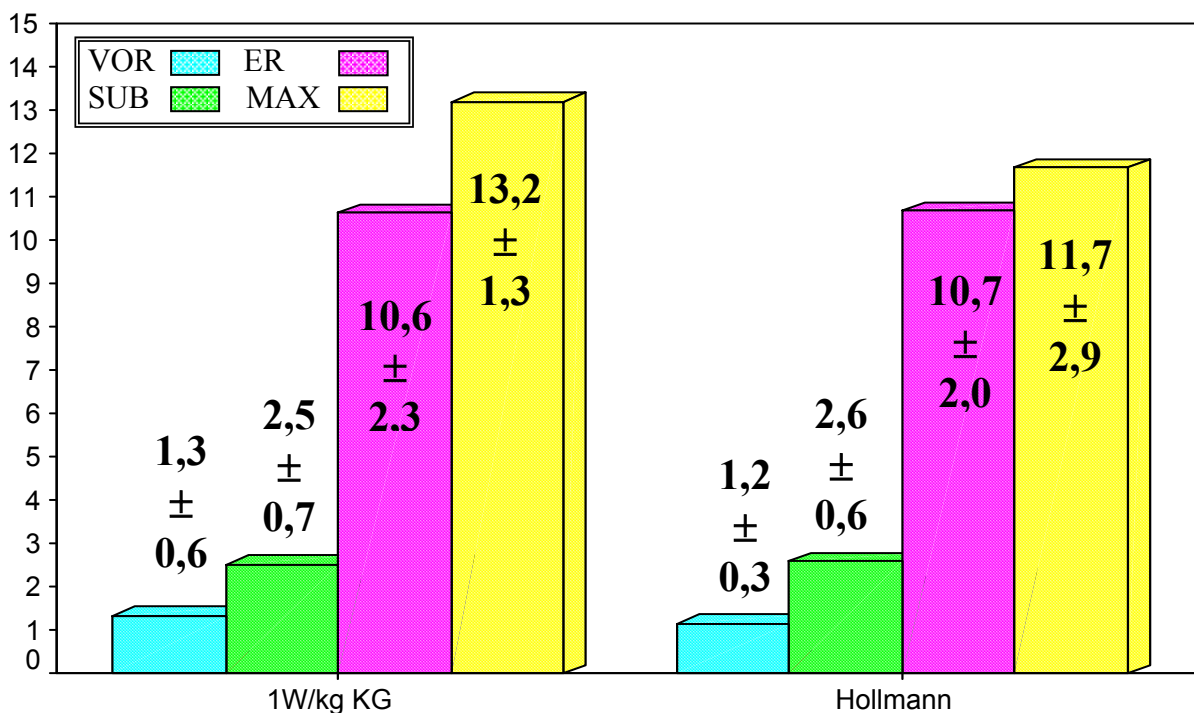
Die **Laktatwerte** in der **Vorstartphase** wurden bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $1,3 \pm 0,6$ mmol/l und beim **Hollmann-Verfahren** mit $1,2 \pm 0,3$ mmol/l bestimmt. Der Unterschied von **0,1 mmol/l** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **submaximalen Laktatwerte** erreichen bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $2,5 \pm 0,7$ mmol/l und beim **Hollmann-Verfahren** mit $2,6 \pm 0,6$ mmol/l das gleiche Niveau.

Die Werte liegen knapp über der **aeroben Schwelle** von **2 mmol/l** Laktat. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **0,1 mmol/l** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Laktat – Gruppe Athleten 2002

Laktat mmol/l



Methode	n	Laktat Vor Belastung mmol/l	Laktat Submaximal mmol/l	Laktat Erschöpfung mmol/l	Laktat Maximal mmol/l
1 W/kg KG	9	1,3 ± 0,6	2,5 ± 0,7	10,6 ± 2,3	13,2 ± 1,3
Hollmann	9	1,2 ± 0,3	2,6 ± 0,6	10,7 ± 2,0	11,7 ± 2,9

Abb. 159: Mittelwerte und Standardabweichungen des Laktats (mmol/l) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren mit der dazugehörigen Wertetabelle.

Die **Laktatwerte** nach der Erschöpfung betragen bei der **1 W/kg KG-Methode** $10,6 \pm 2,3$ mmol/l und beim **Hollmann-Verfahren** $10,7 \pm 2,0$ mmol/l. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **0,1 mmol/l** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **Maximal-Laktatwerte** liegen bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $13,2 \pm 1,3$ mmol/l im Bereich einer hohen Azidose. Beim **Hollmann-Verfahren** ist die Ansäuerung mit $11,7 \pm 2,9$ mmol/l niedriger. Der Unterschied ist aber **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

5. DISKUSSION

5.1 Funktionsdiagnostik der körperlichen Leistungsfähigkeit

Für die Einschätzung der **körperlichen Leistungsfähigkeit** von Athleten hat sich die **physikalische Leistungsmessung** als sichere Methode bewährt (**KNIPPING** 1938, **ROBINSON** 1938, **ÅSTRAND** 1958, **HOLLMANN** 1963, **MELLEROWICZ** 1979, **NOWACKI** 1981).

Die **Ergometrische Leistung** kann durch **unterschiedliche Methoden** erbracht und registriert werden. Dabei zeigen sich trotz gleicher **physikalischer Leistung Unterschiede** in der biologischen Leistung in Abhängigkeit von der **Drehzahl**, der **Kurbellänge**, der **Kurbellhöhe**, der **Untersuchungsmethodik** u.a. (**MELLEROWICZ**, **NOWACKI** 1961, **MELLROWICZ** 1983, **ZHAO** 1995).

Mit ihren **grundlegenden Untersuchungen** über den biologischen Vergleich der spiroergometrischen **Handkurbelarbeit** im Sitzen und den **Fußkurbelleistungen** im Sitzen und Liegen bei gleicher physikalischer Leistung am Ergometer **10 Minuten 100 Watt** bei **36 männlichen gesunden Versuchspersonen** mittleren Alters **von 20 bis 40 Jahren** konnten **MELLEROWICZ**, **NOWACKI** 1961 auf die zwingende Notwendigkeit der Standardisierung ergometrischer Leistungsprüfungen erstmals aufmerksam machen.

In der **Sportmedizin** ist in der Regel die **maximale biologische Leistungsfähigkeit** von Bedeutung. Dabei sollen möglichst viele **Muskelgruppen** eingesetzt werden, deshalb hat sich die **Fußkurbelarbeit** im Sitzen durchgesetzt. Als 1965 die Fußkurbelarbeit standardisiert wurde, machte man Angaben über **Sattelhöhe**, **Lenkereinstellung** und **Kurbellänge** (**SMODLAKA**, **MELLEROWICZ**, **HORAK** 1981, **MELLEROWICZ**, **FRANZ** 1983).

Bei der **fahrradergometrischen Funktionsbelastung** im Sitzen ist die wesentliche Beurteilung der **körperlichen Leistungsfähigkeit** und des allgemeinen **Trainingszustand** auf standardisierter Basis nach jahrelanger konsequenter Anwendung in allen Bereichen der Sportmedizin eindeutig definiert (**NOWACKI** 1971, 1978, 1984, **MELLEROWICZ** u.

Mitarb. 1983). Daraus ergibt sich bei der **Beurteilung der Leistung** ein enges Spektrum der **körperlichen und kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit** für die untersuchten Sportler. **ROST, HOLLMANN** 1982 vertreten darüber hinaus in Übereinstimmung mit der Mehrzahl der **Europäischen Arbeitskreise für Sportmedizin** (**BARON** u. **Mitarb.** 1971, **SMODLAKA** 1972, **MELLEROWICZ** 1979, **ÅSTRAND, RODAHL** 1986) die Ansicht, dass die Vorteile der **Fahrradergometrie** in einer exakten Dosierbarkeit, einer guten Reproduzierbarkeit und Validität der Ergebnisse liegen.

Das Fahrradergometer hat sich im europäischen Raum durchgesetzt, da hier meist klinische Fragestellungen im Vordergrund stehen, die sich mit dieser Methode besser als z. B. mit der **Laufbandspiroergometrie** beantworten lassen (**Blutdruckmessung** und **Qualität** des **Belastungselektrokardiogrammes**, des **Ergo-EKGs**, **höhere Sicherheit** für den Probanden, **weniger Personal** u.a.). **NOWACKI** hat auf der Grundlage umfassender **Vergleichsuntersuchungen** mit seinen MitarbeiternInnen und DoktorandenInnen auf dem **27. Deutschen Sportärztekongress** die Vor- und Nachteile leistungsmedizinischer Untersuchungen mit den Methoden **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen vs. **Laufbandspiroergometrie** diskutiert. Nach seinen Erfahrungen und Argumenten gibt es weltweit kein **ökonomischeres** sowie den **Trainingszustand** exakt festlegendes Verfahren, als die von ihm inaugurierte Fahrradergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**. Diese Auffassung kann ich mit den **vorliegenden** Untersuchungen / Auswertungen bei untrainierten und verschieden hoch trainierten Männern bestätigen.

HOLLMANN 1992 sieht allerdings in der **lokalen Ermüdung der Oberschenkelmuskulatur** von nicht **speziell radfahrgeübten Probanden** einen möglichen Nachteil der **Leistungsbestimmung** durch die Fahrradergometrie. Der lokalen Ermüdung der Oberschenkelmuskulatur kann nach seiner Auffassung eine leistungslimitierende Wirkung zugesprochen werden, da der Ermüdungseffekt vor Erreichen der **maximalen kardiorespiratorischen** und **metabolischen Ausbelastung** eintreten könnte. Allerdings ist an dieser Stelle kritisch anzumerken, dass dies in erster Linie für **das zeitlich sehr lange Kölner** Belastungsverfahren mit einem Beginn bei **30 Watt**, Steigerung alle **3 Minuten** um **40 Watt**, zutrifft.

Als **Fahrradergometertest** eignete sich am besten das **Körpergewichtsbezogene 1 W/kg KG-Belastungsverfahren** nach dem **Gießener Modell** von **NOWACKI** 1974, da es genau auf den einzelnen Sportler eingestellt werden kann und auch Personen unterschiedlicher

Körpergröße und unterschiedlichen **Körpergewichts** **sehr gut vergleichbar** macht. Außerdem gelingt es nur mit diesem Verfahren, scharf zwischen dem **untrainierten** und **trainierten Leistungsvermögen** zu trennen, darüber hinaus kann bei trainierten Personen der **Trainingszustand** in den Kategorien **befriedigend, gut, sehr gut** und **Hochleistung** differenziert dargestellt werden.

Als **leistungsdiagnostische Parameter** der körperlichen Leistungsfähigkeit werden die **Gesamtarbeit in Wattminuten**, die **Gesamtarbeit des Aeroben und Anaeroben Anteils**, die **absolute maximale Wattstufe** (absolute physikalische Leistung in Watt), die **relative maximale Wattstufe** (relative physikalische Leistung in Watt/kg KG), die **Belastungszeit in Minuten** und die **Physical Working Capacity** (**PWC** ₁₇₀ Watt) benutzt.

Die **Gesamtarbeit** ist ein **sehr aufschlussreicher Parameter** zur Beurteilung des **körperlichen Leistungsvermögens**. Diese setzt bei Vergleichsuntersuchungen ein einheitliches ergometrisches Belastungsverfahren voraus (**DITTER** u. **Mitarb.** 1977, **NOWACKI** 1980, **DAL MONTE** 1988, **BURGER**, **NOWACKI** 1989, **ZHAO** 1995).

Bei der **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** ist eine **trainingszustandsabhängige** Zunahme der **Gesamtarbeit in Wattminuten** festzustellen. Während die **Untrainierten** **937 ± 152 Wattminuten** mit **50%** der **aeroben** und **50%** der **anaeroben Kapazität** erreichen, erbringen die **befriedigend Trainierten** **1175 ± 177 Wattminuten** mit **41 % aeroben** und **59% anaeroben Anteil**, die **gut Trainierten** **1463 ± 157 Wattminuten** mit **39% aeroben** und **61% anaeroben Anteil**, die **sehr gut Trainierten** **1869 ± 254 Wattminuten** mit **50% aeroben** und **50% anaeroben Anteil** und die **Hochleistungsgruppe** **2529 ± 209 Wattminuten** mit **48% aeroben** und **52% anaeroben Anteil**.

Von den **Untrainierten** bis zur **Hochleistungsgruppe** sind die jeweiligen Unterschiede zwischen dem **Trainingszustand** **hoch signifikant** (**P ≤ 0,001**). Diese dürften wahrscheinlich mit den **längeren Trainingsjahren** und der etwas **höheren Trainingsquantität** und –intensität der **untrainierten Männer** und verschiedenen **hoch trainierten Athleten** zu erklären sein.

Beim Vergleich der Sportarten ist zu erwähnen, dass in der **Mannschaftsballsportart Fußball** die Gruppe der **16,0 bis 17,9-jährigen** Jungen eine **Gesamtarbeit** von **1344 ± 318 Wattminuten** und eine **untrainierte Gruppe** eine **Gesamtarbeit** von **720 ± 187 Wattminuten** erreichen (**MOHAMMED 1999**). Der Unterschied mit **624 Wattminuten** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die **höchsten Werte** erreichen die **Ausdauer-Kraftsportarten** wie das **Radfahren** mit **2220 ± 531 Wattminuten**, der **Triathlon** mit **1944 ± 184 Wattminuten**, das **Rudern** als **Kraft-Ausdauersportart** mit **1919 ± 361 Wattminuten** und die Gruppe **Fußball WM 82** mit **1733 ± 206 Wattminuten**. Die **niedrigsten Werte** liegen beim **Tauchen** mit **997 ± 125 Wattminuten**, dem **Boxen** mit **1070 ± 176 Wattminuten** und dem **Tischtennis** mit **1115 ± 225 Wattminuten**, weil diese Sportarten weniger **Ausdauer** benötigen.

TINIAKOS 2001 erwähnte, dass bei den von ihm untersuchten **zypriotischen** Athleten die **Straßenradrennsportler** die **höchste Gesamtarbeit** mit **2017 ± 76 Wattminuten** und die **Tennisspieler** die **niedrigste Gesamtarbeit** mit **1002 ± 378 Wattminuten** aufwiesen.

Die **sehr gut trainierten Probanden** erreichen eine **Gesamtarbeit** bei der **1 W/kg KG-Methode** den **niedrigsten Wert** mit **1894 ± 431 Wattminuten**, davon **42% aerob** und **58%** mit einem **anaeroben Anteil**. Bei dem **Hollmann-Verfahren** liegt die **Gesamtarbeit** mit **3727 ± 1076 Wattminuten** am **höchsten**. Davon fallen **43%** auf den **aeroben** und **57%** auf den **anaeroben Anteil**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **1833 Wattminuten** ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$). Aber bei der **0,5 W/kg KG-Methode** liegt die **Gesamtarbeit** bei **2881 ± 622 Wattminuten** mit **34% aeroben** und **66% anaeroben Anteil**. Bei dem **BAL-Verfahren** werden **2804 ± 1026 Wattminuten** mit **30% aeroben** und **70% anaeroben Anteil** registriert. Bei dem **Knipping-Verfahren** wurden von **2782 ± 1068 Wattminuten** nur **18% aerob** und der größte Anteil mit **82%** erwartungsgemäß **anaerob** geleistet.

Die **sehr gut trainierten Athleten 2002** erreichten bei der Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** eine **Gesamtarbeit** von **2344 ± 330 Wattminuten** und bei dem **Hollmann-Verfahren** **4361 ± 590 Wattminuten**. Mit **2017 Wattminuten** ist der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** **hoch**

signifikant ($P \leq 0,001$). Ich kann das damit begründen, dass die **1 W/kg KG-Methode** mit **1 W/kg KG** anfängt, alle **2 Minuten** um **1 W/kg KG** gesteigert wird und nur **maximal 14 Minuten** dauert. Das **Hollmann-Verfahren** fängt mit **30 Watt** an und wird alle **3 Minuten** um **40 Watt** gesteigert. Bis zur Erschöpfung ist eine maximale Belastungszeit von **27 Minuten** erforderlich, so dass die Athleten mit **43 %** der **Gesamtarbeit** überwiegend **aerob** arbeiten können.

1995 fand **ZHAO** von **15 untersuchten sehr gut trainierten Sportlern** bei der **1 W/kg KG-Methode** mit **2212 ± 592 Wattminuten** die **niedrigste Gesamtarbeit** und beim **Hollmann-Verfahren** mit **4073 ± 1014 Wattminuten** die **höchste Gesamtarbeit**.

Beim Vergleich 3 anderer Methoden wurden folgende Werte ermittelt: bei der **0,5 W/kg KG-Methode** wurden **3297 ± 1006 Wattminuten**, beim **BAL-Verfahren** wurden **3085 ± 975 Wattminuten** und beim **Knipping-Verfahren** wurden **3344 ± 1414 Wattminuten** erreicht.

Die **Ruderer** erreichten bei der **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der **Rudermethode** vor dem **Höhentraining** **3700 ± 437 Wattminuten** und nach dem **Höhentraining** **4125 ± 354 Wattminuten**. Mit **425 Wattminuten** ist der Unterschied **nicht signifikant ($P > 0,05$)**, zeigt aber, dass das **Hypoxietraining** mit den Methoden von **ADAM 1977** leistungsfördernd war.

Bei der Durchführung von **Trainingsprogrammen** in **großen Höhen ab 2000 m** kommt es zusätzlich zur **Einwirkung biotroper Reize** mit einer **Reihe veränderter physikalischer Faktoren**, wie **herabgesetzter Luftdruck**, **erniedrigter Sauerstoffpartialdruck**, **veränderte Temperatur** und **Luftfeuchtigkeit**, **intensivere Sonnen- und kosmische Strahlungen** sowie **veränderte Gravitationsverhältnisse** u.a (**NOWACKI 1981**).

Die **absolute maximale Wattstufe**, die bei einer **erschöpfenden spiroergometrischen** Ausbelastung auf dem Fahrradergometer im Sitzen bzw. bei der Drehkurbelarbeit im Stehen (**MELLEROWICZ 1979**) noch voll durchgehalten werden kann, bestimmt ganz wesentlich die **Maximalwerte der kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und methabolischen Funktionsgrößen** (**MELLEROWICZ u. Mitarb. 1961, NOWACKI 1977, KINDERMANN 1987, ZHAO 1995, MOHAMMED 1999**).

Die **maximale absolute Wattstufe** liegt bei der **Untrainierten Gruppe** bei 249 ± 37 Watt, bei der **Befriedigend trainierten Gruppe** bei 304 ± 39 Watt, bei der **Gut trainierten Gruppe** bei 300 ± 31 Watt, bei der **Sehr gut trainierten Gruppe** bei 364 ± 41 Watt und bei der **Hochleistungsgruppe** bei 423 ± 23 Watt. Der Unterschied mit **4 Watt** zwischen der **befriedigend trainierten Gruppe** und der **gut trainierten Gruppe** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$). Die Unterschiede zwischen allen anderen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Während **Kranke**, z. B. nach **überstandem Herzinfarkt**, nur **absolute Wattstufen** von **50, 75, oder 100 Watt** noch erreichen (**NOWACKI** 1978, **RAABE** 1995), schaffen **gesunde untrainierte Männer** je nach Belastungsverfahren absolute Wattstufen zwischen **150 bis 250 Watt** (**MELLEROWICZ** 1979).

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen die **höchsten maximalen absoluten Wattstufen** beim **Rudern** mit 380 ± 44 Watt, beim **Triathlon** mit 375 ± 27 Watt, beim **Radfahren** mit 367 ± 50 Watt, und bei der **Fußballnationalmannschaft WM 82** mit 354 ± 38 Watt. Die **niedrigsten Werte** liegen beim **Tischtennis** mit 265 ± 45 Watt, beim **Tauchen** mit 266 ± 41 Watt und beim **Boxen** mit 268 ± 23 Watt.

In den Jahren 1968 bis 1975 konnte **NOWACKI** 1977, sowie **DITTER**, **NOWACKI**, **SIMAI**, **SIEGFRIED** 1977 mit dem ergometrischen Belastungsverfahren für Ruderer Untersuchungen im Vita maxima-Bereich mit maximalen Wattstufen von 450 und 500 Watt durchführen. Höhere Werte für maximale Wattstufen wurden von anderen Arbeitskreisen mit ihren Methoden nicht erreicht (zusammenfassende Literatur bei **HOLLMANN**, **HETTINGER** 2000).

Die **höchsten maximalen absoluten Wattstufen** der **Spielsportarten** wurden von **NOWACKI** u. Mitarb. (bisher unveröffentlicht) bei **deutschen Fußball-Nationalspielern**, u. a. P. Br. vom F.C. Bayern mit **375 Watt** vor der WM 1974, P.Br., dem Spieler des F.C. Kaiserslautern und früheren Zehnkämpfer, mit **380 Watt**, K.-H. Ru., F.C. Bayern, mit **400 Watt** und M. Ka., HSV, mit **425 Watt**, registriert.

Von unseren **Athleten 2002** hat der Ruderer F.V. bei der erschöpfenden Fahrradergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** maximal **525 Watt** sicher für **9,5 Minuten** getreten.

Mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichen die **6 sehr gut trainierten Probanden** die **größte maximale absolute Wattstufe** mit **375 ± 63 Watt**. Beim **Hollmann-Verfahren** liegt die **maximale absolute Wattstufe** bei **310 ± 44 Watt**, bei der **0,5 W/kg KG-Methode** bei **318 ± 49 Watt**, beim **BAL-Verfahren** bei **317 ± 61 Watt** und beim **Knipping-Verfahren** bei **298 ± 44 Watt**. Der Unterschied zwischen der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** mit **65 Watt** und zu dem **Knipping-Verfahren** mit **77 Watt** ist **signifikant** ($P \leq 0,05$).

Die **maximale absolute Wattstufe** bei der **1 W/kg KG-Methode** erreichten unsere **9 sehr gut trainierten Athleten 2002** mit **399 ± 55 Watt** und beim **Hollmann-Verfahren** mit **323 ± 20 Watt**. Der Unterschied mit **76 Watt** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Die **höchste maximale Wattstufe** mit **393 ± 61 Watt** erreichten die Sportler mit der **1 W/kg KG-Methode**, also mit dem **zeitlich kürzesten Verfahren**, wie zu erwarten. Die **maximalen Wattstufen** der anderen Belastungsverfahren waren praktisch identisch und lagen zwischen **316 Watt (Knipping)** und **342 Watt** mit der **0,5 W/kg KG-Methode (ZHAO 1995)**.

Die **maximale absolute Wattstufe** bei der **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der **Rudermethode** erreichten die Ruderer **vor dem Höhenttraining** mit **481 ± 26 Watt** und **nach dem Höhenttraining** mit **494 ± 18 Watt**. Der Unterschied von **13 Watt** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Die **absoluten Maximalen Wattstufen** 20- bis 30jähriger Trainierter aus den meisten Sportarten liegen zwischen **250-400 Watt**. Spitzenrunderer erreichten mit der von (**NOWACKI, KRAUSE, ADAM, RULFFS 1971**) publizierten ergometrischen **Bealstungsmethode für Ruderer absolute Wattstufen** von **500 bis 550 Watt**.

Vor allem die **relative maximale Wattstufe (W/kg KG)**, die national und international in den letzten 20 Jahren auf der Grundlage der **sportmedizinischen Forschung** an der **Universität Gießen** übernommen wurde, stellt für die **Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit** eines der **bedeutendsten Kriterien** dar. Beim Vergleich von Leistungsdaten ergometrischer Untersuchungen sind relative Angaben vorteilhafter als absolute, denn sie berücksichtigen das Körpergewicht des Probanden (**NOWACKI 1975**,

1977, 1978, 1987, **KLEMT**, **ROST** 1986, **KINDERMANN** 1987, **ZHAO** 1995, **APPEL** 1996, **N.S. NOWACKI** 1998, **MOHAMMED** 1999, **SAWELLION** 2001, **TINIAKOS** 2001, **HENNE** 2001).

Die **maximale relative Wattstufe** liegt bei der **untrainierten Gruppe** bei $2,98 \pm 0,05$ Watt/kg KG, bei der **befriedigend trainierten Gruppe** bei $3,98 \pm 0,07$ Watt/kg KG, bei der **gut trainierten Gruppe** bei $3,98 \pm 0,08$ Watt/kg KG, bei der **sehr gut trainierten Gruppe** bei $4,98 \pm 0,10$ Watt/kg KG und bei der **Hochleistungsgruppe** bei $5,86 \pm 0,07$ Watt/kg KG. Nur der Unterschied zwischen der **befriedigend trainierten Gruppe** und der **gut trainierten Gruppe** ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Nach **NOWACKI** 1971 sollen die **befriedigend trainierten Gruppen** **1 Minute 4 W/kg KG** treten und die **gut trainierten Gruppen** **2 Minuten 4 W/kg KG**.

MOHAMMED 1999 erwähnte, dass im Vergleich **untrainierter Jungen** die **maximale relative Wattstufe** von **Fußballspielern** in jeder **Altersklasse** **hochsignifikant** ($P \leq 0,001$) darüber liegt (Tab.68).

Tabelle. 68: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen relativen Wattstufe von Kindern und jugendlichen Fußballspielern bei erschöpfender Fahrradergometrie im Sitzen im Vergleich zu untrainierten Kindern und Jugendlichen (nach MOHAMMED 1999)

Altersklasse J	Maximale relative Wattstufe			
	Fußballspieler	Untrainierte	Unterschied	Signifikanz
6,0 – 7,9	3,5 + 0,5	2,7 + 0,5	+ 0,8	($P \leq 0,001$)
8,0 – 9,9	3,7 + 0,5	2,9 + 0,2	+ 0,8	($P \leq 0,001$)
10,0 – 11,9	3,7 + 0,6	2,9 + 0,3	+ 0,8	($P \leq 0,001$)
12,0 – 13,9	3,8 + 0,6	3,0 + 0,2	+ 0,8	($P \leq 0,001$)
14,0 – 15,9	4,1 + 0,6	3,0 + 0,0	+ 1,1	($P \leq 0,001$)
16,0 – 17,9	4,2 + 0,6	3,0 + 0,0	+ 1,2	($P \leq 0,001$)

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen die **höchsten maximalen relativen Wattstufen**. Beim **Radfahren** mit $5,29 \pm 0,64$ Watt/kg KG, beim **Rudern** mit $4,99 \pm 0,66$ Watt/kg KG, beim **Triathlon** mit $4,98 \pm 0,10$ Watt/kg KG und beim **Skilanglauf** mit $4,82 \pm 0,60$. Die **niedrigsten Werte** liegen beim **Tauchen** mit $3,49 \pm 0,53$ Watt/kg KG, beim **Volleyball** mit $3,61 \pm 0,52$ Watt/kg KG und beim **Tischtennis** mit $3,70 \pm 0,46$ Watt/kg KG.

So fand **TINIAKOS** 2001 bei den **zypriotischen Sportlern** eine **maximale relative Leistungsfähigkeit** bei erschöpfender Belastung mit der gleichen Methode nach **NOWACKI** beim **Judosport** mit $3,5 \pm 0,5$ Watt/kg KG, beim **Tennis** mit $3,5 \pm 0,5$ Watt/kg KG und beim **Tischtennis** mit $3,0$ Watt/kg KG.

Die **6 sehr gut trainierten Athleten** mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichten die **größte maximale relative Wattstufe** mit $4,93 \pm 0,55$ Watt/kg KG. Beim **Hollmann-Verfahren** liegt die **maximale relative Wattstufe** bei $4,09 \pm 0,43$ Watt/kg KG, bei der **0,5 W/kg KG-Methode** bei $4,21 \pm 0,45$ Watt/kg KG, beim **BAL-Verfahren** bei $4,18 \pm 0,65$ Watt/kg KG und beim **Knipping-Verfahren** bei $3,98 \pm 0,48$ Watt/kg KG. Die **1 W/kg KG-Methode** im Vergleich zum **Hollmann-Verfahren** und zum **Knipping-Verfahren** ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$), zu der **0,5 W/kg KG-Methode** und zu dem **BAL-Verfahren** mit $4,18 \pm 0,65$ Watt/kg KG **signifikant** ($P \leq 0,05$) größer.

Bei den **neusten Untersuchungen 2002** erreichten die **sehr gut trainierten Athleten** mit der **1 W/kg KG-Methode** eine **maximale relative Wattstufe** von $5,33 \pm 0,50$ Watt/kg KG und mit dem **Hollmann-Verfahren** von $4,32 \pm 0,68$ Watt/kg KG. Der Unterschied mit $1,01$ Watt/kg KG ist **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

Da nur die **maximal erreichte Wattstufe** durch das **Körpergewicht des Sportlers** geteilt werden muss, kann die **Beurteilung des Trainingszustandes** für jedes ergometrische Belastungsverfahren angewandt werden. **Voraussetzung** ist allerdings, dass die Erschöpfung in einem **Zeitraum von mindestens 5 bis höchsten 14 Minuten** erreicht wird. Gerade **ZHAO** 1995 konnte durch seine Experimente nachweisen, dass durch zeitlich länger konzipierte Ergometriemethoden, z. B. nach **HOLLMANN** mit $24,0 \pm 3,2$ Minuten vs. **1 W/kg KG-Methode** mit $9,8 \pm 1,5$ Minuten bei **sehr gut Trainierten**, nicht mehr so hohe maximale Wattstufen erreicht werden.

Die **Ruderer** erreichten eine **maximale relative Wattstufe** bei der **Fahrradspiroergometrie** im Sitzen nach der **Rudermethode vor dem Höhenttraining** mit $5,14 \pm 0,30$ Watt/kg KG und **nach dem Höhenttraining** mit $5,28 \pm 0,23$ Watt/kg KG.

Heute besteht kein Zweifel daran, dass in **Ausdauersportarten** durch ein Training unter **Höhenbedingungen** die **Leistungsfähigkeit** anschließend im **Flachland** aufgrund der einsetzenden **Akklimatisationsvorgänge** verbessert werden kann. Deshalb sollten die Athleten in **Disziplinen** mit mindestens mehrminütiger **Belastungsdauer** rechtzeitig, in der Regel ca. **2-3 Wochen vor Wettkampfbeginn** in **höher gelegene Orte** anreisen (**PUGH** 1967, **OLDRIDGE** 1970, **CHAPMAN**, **STRAY-GRUNDERSEN**, **LEVINE** 1998, **DANELS**, **ROBERGS**, **QUINTANA**, **PARKER**, **FRANKEL** 1998, **FRIEDMANN** 2000).

Für die **Belastungszeit** sind bei ergometrischen Messungen **ökonomische Prinzipien** ebenfalls zu beachten. Die Messungen sind mit möglichst **geringem zeitlichem** und apparativem Aufwand durchzuführen. Es ist **unrationell** und **unnötig** zeitaufwendig, wenn für eine ergometrische Messung z. B. **24 Minuten** und mehr verwandt werden müssen, wenn ein **vergleichbares, reproduzierbares, valides** Ergebnis in **8-10 Minuten** erzielt werden kann (**MELLEROWICZ** 1979).

Die **untrainierte Gruppe** erreichte eine **Belastungszeit** mit $5,77 \pm 0,39$ min, die **befriedigend trainierte Gruppe** mit $6,85 \pm 0,25$ min, die **gut trainierte Gruppe** mit $7,90 \pm 0,20$ min, die **sehr gut trainierte Gruppe** mit $9,14 \pm 0,45$ min und die **Hochleistungsgruppe** mit $11 \pm 0,70$ min. Die Unterschiede zwischen allen Gruppen sind **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Mit dieser **Belastungszeit** haben die **untrainierte Gruppe** **1,77 Minuten** **3 W/kg KG**, die **befriedigend trainierte Gruppe** **0,85 Minuten** **4 W/kg KG**, die **gut trainierte Gruppe** **1,90 Minuten** **4 W/kg KG**, die **sehr gut trainierte Gruppe** **1,14 Minuten** **5 W/kg KG** und die **Hochleistungsgruppe** **1 Minute** **6 W/kg KG** getreten.

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen die **höchste Belastungszeit**. Beim **Radfahren** mit $10,33 \pm 1,56$ Minuten, beim **Triathlon** mit $9,21 \pm 0,64$ Minuten, beim **Rudern** mit $9,03 \pm 1,06$ Minuten und beim **Skilanglauf** mit $8,75 \pm 1,12$ Minuten. Die **niedrigsten Werte** wurden beim **Tauchen** mit $6,28 \pm 0,58$ Minuten, beim **Volleyball** mit $6,55 \pm 0,96$ Minuten,

beim **Bodybuilding** mit $6,86 \pm 1,18$ Minuten, beim **Boxen** mit $6,98 \pm 0,50$ Minuten und beim **Tischtennis** mit $6,96 \pm 0,86$ Minuten ermittelt.

Die **Radfahrer** mit $0,33$ Minuten 6 W/kg KG sind im **Hochleistungsbereich**. Die **Triathleten** liegen mit $1,21$ Minuten 5 W/kg KG, die **Ruderer** mit $1,03$ Minuten 5 W/kg KG und die **Skilangläufer** mit $0,75$ Minuten 5 W/kg KG im **sehr gut trainierten Bereich**. Dagegen sind die **Taucher** mit $0,28$ Minuten 4 W/kg KG, die **Volleyballspieler** mit $0,55$ Minuten 4 W/kg KG, die **Bodybuilder** mit $0,86$ Minuten 4 W/kg KG, die **Boxer** mit $0,98$ Minuten 4 W/kg KG und die **Tischtennisspieler** mit $0,96$ Minuten 4 W/kg KG im **befriedigend trainiert Bereich**.

Die sehr gut trainierten Probanden erreichen mit der 1 W/kg KG-Methode $9,03 \pm 1,08$ Minuten, mit dem **Hollmann-Verfahren** $22,67 \pm 3,44$ Minuten, mit der $0,5$ W/kg KG-Methode $16,50 \pm 1,87$ Minuten, mit dem **BAL-Verfahren** $12,00 \pm 2,98$ Minuten und mit dem **Knipping-Verfahren** $10,83 \pm 4,45$ Minuten.

Das **Hollmann-Verfahren** im Vergleich zu der 1 W/kg KG-Methode, zum **BAL-Verfahren** und zum **Knipping-Verfahren** ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$) und zu der $0,5$ W/kg KG-Methode **sehr signifikant** ($P \leq 0,01$).

Die **neun** von mir **untersuchten Athleten 2002** erreichten mit der 1 W/kg KG-Methode eine **Belastungszeit** von $10,22 \pm 0,83$ Minuten und mit dem **Hollmann-Verfahren** von $24,78 \pm 1,72$ Minuten. Der Unterschied mit $14,56$ Minuten ist **hoch signifikant** ($P \leq 0,001$).

Über die **Belastungszeit** wurde beim **4. Internationalen Seminar für Ergometrie 1981** folgendes **Minimal- und Kompromissprogramm** der Arbeitsgruppe für Ergometrie der **ICSPE** als **Standardisierungsvorschlag** empfohlen: “ **Die Gesamtdauer aller Leistungsstufen soll mindesten 6, aber nicht mehr als 12 Minuten betragen**“.

Gerade in diesem Punkt ist die 1 W/kg KG-Methode nach **NOWACKI** mit $10,22$ Minuten gegenüber allen anderen hier beurteilten Methoden vorzuziehen.

Bei **erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Belastungszeit** von $10,38 \pm 0,92$ Minuten und **nach dem Höhenttraining** von $11,25 \pm 0,71$ Minuten. Der Unterschied zwischen **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit $0,87$ Minuten ist **nicht signifikant** ($P > 0,05$).

Vor dem Höhenttraining haben die Ruderer **0,38 Minuten 500 Watt** und nach dem Höhenttraining **1,25 Minuten 500 Watt** getreten. So erwähnt NOWACKI 1981, dass die Belastung auf dem Fahrradergometer im Sitzen bei **250 Watt begann**, Steigerung alle **2 Minuten um 50 Watt**, wobei der leistungsstärkste Ruderer und **Schlagmann P.B.** zuletzt noch **2 Minuten bei 500 Watt** belastet werden konnte. Diese absolute Leistung unter **Hypoxiebedingungen** ist bisher auf der Welt noch nicht überboten worden.

Einen guten Einblick in die **Funktionsfähigkeit** und den **Trainingszustand** des **kardiozirkulatorischen Systems** sowie weitere Informationen zur **körperlichen Leistungsfähigkeit** bietet die **Physical Working Capacity**, die **PWC₁₇₀** (**FRANZ 1977**).

Die Bedeutung der **PWC₁₇₀** wurde viele Jahre verkannt, bis der Berliner Sportmedizinische Arbeitskreis (**CHINTANASERI 1973**, **FRANZ 1973**, **FRANZ 1977**) in den 70er Jahren ihm einen neuen Stellenwert gab.

Die **PWC₁₇₀** entspricht **derjenigen Leistung** auf dem **Ergometer**, bei welcher eine **Herzfrequenz** von **170 Hf• min⁻¹** erreicht wird. Die **PWC₁₇₀** wurde 1948 von **WAHLUND** als **ergometrisches Testverfahren** eingeführt. Die Belastungsstufen **dauerten** mit **6 Minuten** sehr lange. **Begonnen** wurde mit **50 Watt**, dann erfolgte eine **Steigerung um 50 Watt**, bis eine Stufe von **170 Hf• min⁻¹** erreicht wurde. Das heute übliche Verfahren der **mathematischen Berechnung** bzw. **graphischen Bestimmung** war noch nicht entwickelt. **KIM 1994** hat sich in seiner wohl weltweit umfassendsten Studie **PWC₁₇₀** mit der Problematik ausführlich auseinandergesetzt.

Die Gießener Kinderärzte (**LINDEMANN**, **RAUTENBURG**, **BREITBACH**, **HASSER 1980**) haben den Vorteil der **PWC₁₇₀-Bestimmung** im Sinne einer ergometrisch **einfachen** und **raschen Beurteilung** der **körperlichen und kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit** bei Kindern und Jugendlichen hervorgehoben.

Die **untrainierte Gruppe** erreichte eine **Physical Working Capacity (PWC₁₇₀ Watt)** absolut mit **251 ± 61 Watt**, die **befriedigend trainierte Gruppe** mit **254 ± 63 Watt**, die **gut trainierte Gruppe** mit **279 ± 52 Watt**, die **sehr gut trainierte Gruppe** mit **297 ± 65 Watt** und die **Hochleistungsgruppe** mit **333 ± 50 Watt**.

Nach der Untersuchungen von (**NOWACKI, SCHÄFER 1985**) zur Ermittlung der **PWC₁₇₀** mit der **1 W/kg KG-Methode** kamen die Autoren bei insgesamt **1157** Probanden von **8,0** bis **29,9** Jahren zu der in der Tab.69 dargestellten Beurteilung.

Tabelle. 69: Beurteilung des Trainingszustandes durch die PWC₁₇₀ ermittelt auf der Grundlage der Gießener körpergewichtsbezogenen 1 W/kg KG-Methode für männliche Probanden nach NOWACKI, SCHÄFER 1984

Beurteilung des Trainingszustandes	Altersklassen Jungen / Männer – PWC ₁₇₀		
	10,0 bis 14,9 Jahre	15,0 bis 17,9 Jahre	18,0 bis 29,9 Jahre
Pathologisch	bis 35 Watt	bis 158 Watt	bis 164 Watt
Untrainiert	bis 110 Watt	bis 200 Watt	bis 218 Watt
Trainiert	bis 135 Watt	bis 214 Watt	ab 236 Watt
Sehr gut trainiert	bis 160 Watt	bis 228 Watt	ab 254 Watt
Hochleistung	bis 210 Watt	bis 256 Watt	ab 290 Watt

Die **Triathleten** mit **344 ± 66 Watt**, die **Ruderer** mit **323 ± 52 Watt** und die **Fußball WM 82** mit **331 ± 53 Watt** sind im **Hochleistungsbereich**. Dagegen liegen die **Taucher** mit **235 ± 67 Watt**, die **Volleyballspieler** mit **236 ± 57 Watt** und die **Tischtennisspieler** mit **238 ± 38 Watt** im **befriedigend trainierten Bereich**. Keine Sportart bei meiner Studie liegt im **untrainierten Bereich**.

Die Bedeutung der **PWC₁₇₀** als Leistungsparameter in Abhängigkeit von der Sportart wird von **DE CASTRO** u. Mitarb. 1981 sowie **NOWACKI, SCHÄFER 1984** gut dokumentiert. Die **PWC₁₇₀** wird besonders bei **Kraft-Ausdauer Sportlern** entwickelt, im Gegensatz zu anderen Sportarten mit einem z. B. **ausgeprägt statischen Charakter** oder solchen mit **hohen technischen-taktischen** Anforderung.

Mit der **1 W/kg KG-Methode** erreichen die sehr gut trainierten Probanden bei **170 Hf•min⁻¹** **294 ± 68 Watt**, mit der **0,5 W/kg KG-Methode** **262 ± 43 Watt**, mit dem **Hollmann-Verfahren** **250 ± 40 Watt**, mit dem **BAL-Verfahren** **265 ± 32 Watt** und mit dem **Knipping-Verfahren** **249 ± 27 Watt**.

Bei meinen neuesten Untersuchungen mit einem **modernen Ergo-EKG** liegt die **PWC₁₇₀** bei der **1 W/kg KG-Methode** bei **333 ± 68 Watt** und beim **Hollmann-Verfahren** bei **275 ± 49 Watt**.

Ein **PWC₁₇₀** Vergleich zwischen den **Verfahrensbelastungsmethoden** liegt noch nicht in der Literatur vor.

Bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **PWC₁₇₀** mit **407 ± 39 Watt** und **nach dem Höhenttraining** **414 ± 40 Watt**.

Die **internationale Konkurrenz** war Erfolge des **bundesdeutschen Achters** gewöhnt. Das abschließende **Höhenttraining** glich ungünstige Voraussetzungen beim **Training der Ruderer** in den Jahren 1966/67 (Ferntraining) nicht nur aus, sondern verbesserte durch die zusätzlichen Anpassungsvorgänge infolge des Höhenttrainings die **körperliche** und **biologische Leistungsfähigkeit** anschließend im Flachland deutlich im Vergleich zu einem **Training unter Normalbedingungen** (**NOWACKI** 1977, 1978).

5.2 Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen

Eine der bevorzugten Messgrößen in der **Sport- und Arbeitsmedizin** im Rahmen der **kardiozirkulatorischen Funktionsdiagnostik** ist die **Herzschlagfrequenz**. Sie ist eine der wichtigsten **Funktionsparameter** zur Beurteilung des **Leistungsstandes** des **Herzkreislaufsystems** (**MELLEROWICZ** 1956, **HOLLMANN** 1959, **REINDELL** 1962, **ISRAEL** 1968, **NOWACKI** 1977, **NÖCKER** 1980, **RIECKERT** 1992).

Auch **CHRISTENSEN** 1931 erkannte den besonderen Aussagewert der Herzfrequenz-Registrierungen während und nach schweren körperlichen Arbeiten.

Die **Herzfrequenz** hat im täglichen Training der **Athleten** einen besonderen Stellenwert, da sie leicht zu bestimmen ist und somit direkte Rückschlüsse auf die **Leistungsfähigkeit** des **Herzkreislaufsystems** zulässt (**ISRAEL** 1982, **PREUHS** 1990, **NOWACKI** 1992).

Das Verhalten der Herzschlagfrequenz zeigt darüber hinaus Beziehungen zur **Belastungsintensität**, zur **Ausdauerleistungsfähigkeit** und zur **Leistungsfähigkeit** des **Herzkreislaufsystems** auf (**ISRAEL** 1968).

Die **Herzschlagfrequenz** kann vom **Arzt**, **Trainer**, **Sportlehrer**, aber auch vom **Athleten** und **Patienten** selbst, zur **Leistungs-**, **Anpassungs-** und **Ermüdungsdiagnostik** eingesetzt werden. **Skelettmotorische Aktivitäten** als Folge akuter, kurzer und chronischer langfristiger körperlicher / sportlicher Leistungen veranlassen das Herz zu Reaktionen seiner Schlagfolge, die **gesetzmäßige Adaptationen** des gesunden Herzens zur Folge haben. Die dabei aus dem Verhalten der Herzfrequenz abzulesenden Unterschiede zwischen einem **leistungsschwachen**, **normal gesunden** und **sportlich trainierten Herzkreislaufsystems** haben die Bedeutung dieser leistungsmedizinischen Kennziffer bis heute bestätigt.

Bei trainierten Personen lässt sich eine hohe **Ökonomisierung** des Herzkreislaufsystems feststellen. Die Frequenz des trainierten Herzens ist bei gleicher Leistung normalerweise niedriger als des Untrainierten (**REINDELL** 1967, **ISRAEL** 1982, **KEUL** u. Mitarb. 1988).

Die verlangsamte Herztätigkeit des Trainierten geht mit einer verbesserten **Sauerstoffversorgung** des Herzens einher. Eine hohe Ökonomisierung sowie der Hinweis auf die kardialen Reservekräfte des Herzens kommt durch die verlangsamte Herztätigkeit zum Ausdruck (**ÅSTRAND**, **SALTIN** 1961, **NOWACKI** 1977, **NÖCKER** 1980).

Die **Bestimmung** der Herzfrequenz, meistens als Eigenmessung durch den Sportler und gelegentliche Vergleiche durch den Sportarzt bzw. Trainer, erfolgt palpatorisch durch

Zählung des Pulses an der **A. radialis** und **A. carotis**, bzw. **auskultatorisch** direkt über dem Herzen. Im Allgemeinen wird die Anzahl der Herzschläge für ein **10-Sekundenintervall** ausgezählt und mit dem **Faktor 6** zur Bestimmung des Minutenwerts multipliziert. Durch die **technische Entwicklung** und weite Verbreitung einfach zu handhabender **Pulsmessgeräte** erlebt die Messung der **Herzschlagfrequenz** beim Sport zunehmend eine Renaissance, zumal die einseitigen **Laktatmessungen** die in sie gesetzten Erwartungen teilweise enttäuscht haben.

Die **Mehrherzschlagfrequenz** in der **Leistungsphase** steigt von der **untrainierten Gruppe** mit 478 ± 80 Hf über die **befriedigend trainierte Gruppe** mit 611 ± 81 Hf, die **gut trainierte Gruppe** mit 694 ± 86 Hf, die **sehr gut trainierte Gruppe** mit 856 ± 110 Hf und die **Hochleistungsgruppe** mit 1040 ± 118 Hf mit der Leistungsfähigkeit an.

Die **untrainierte Gruppe** hat eine **Belastungszeit** mit $5,77 \pm 0,39$ Minuten getreten, die **befriedigend trainierte Gruppe** mit $6,85 \pm 0,25$ Minuten, die **gut trainierte Gruppe** mit $7,90 \pm 0,20$ Minuten, die **sehr gut trainierte Gruppe** mit $9,14 \pm 0,45$ Minuten und die **Hochleistungsgruppe** mit $11 \pm 0,70$ Minuten. Durch den unterschiedlichen **Trainingszustand** kommt die Differenz der **Mehrherzschlagfrequenz** zu stande.

Die **Mehrherzschlagfrequenz** in der **Erholungsphase** beträgt bei der **untrainierten Gruppe** 344 ± 66 Hf, bei der **befriedigend trainierten Gruppe** 357 ± 72 Hf, bei der **gut trainierte Gruppe** 349 ± 70 Hf, bei der **sehr gut trainierten Gruppe** 384 ± 65 Hf und bei der **Hochleistungsgruppe** 393 ± 57 Hf.

Durch **MÜLLER, KARRASCH 1955** wurde jedoch nachgewiesen, dass sich die Pulsfrequenz während und nach der Arbeit in charakteristischer Weise verschieden verhält, wenn die Arbeit unterschiedlich schwer und damit verschieden ermüdend ist.

Tendenziell finden sich die Aussagen von **MELLEROWICZ 1979** bestätigt, wonach es mit einem verbesserten **Trainingszustand** zu einer schnelleren **Herzfrequenzberuhigung** nach **maximaler Ausbelastung** kommt. Ein gezieltes mehrjähriges Ausdauertraining führt zu einer deutlichen Verbesserung der Erholungsfähigkeit.

In der Abb. 160 sind die Verläufe der **Herzfrequenzkurven** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Untrainierten** (**23,3 J, 82 kg, 183,5 cm**) im Vergleich zu

einem befriedigend Trainierten (19,8 J, 97,2 kg, 204 cm), gut Trainierten (18,4 J, 82,4 kg, 194 cm), sehr gut Trainierten (20,3 J, 104,5 kg, 195 cm) und Hochleistungsathleten (24,4 J, 67 kg, 178 cm) bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode dargestellt.

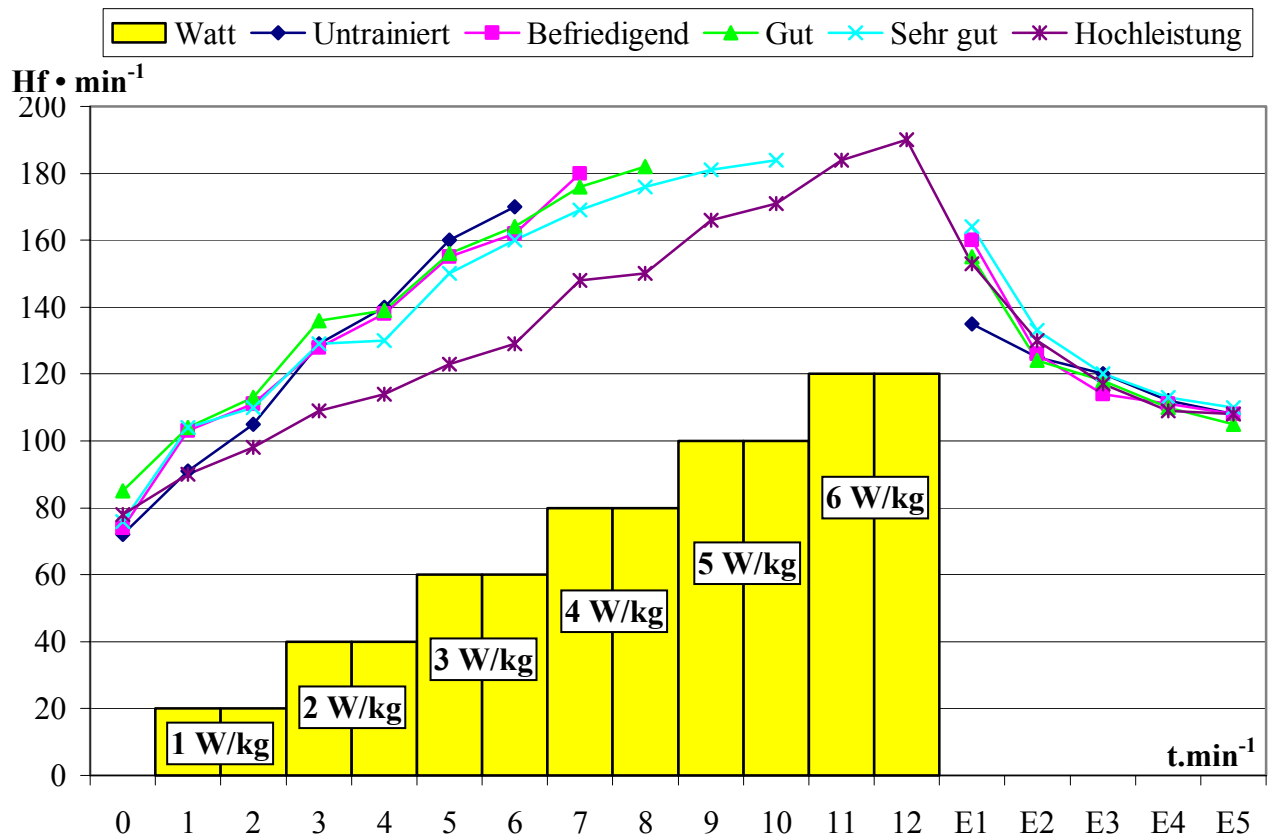


Abb. 160: Verhalten der Herzschlagfrequenz bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von einem untrainierten Mann im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten.

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen die **höchste Mehrherzschlagfrequenz** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, z.B. beim **Radfahren** mit 1023 ± 158 Hf, beim **Skilanglauf** mit 843 ± 167 Hf, beim **Rudern** mit 818 ± 179 Hf, beim **Triathlon** mit 815 ± 113 Hf und beim **Fußball** mit 792 ± 143 Hf. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit 543 ± 103 Hf und beim **Boxen** mit 585 ± 83 Hf von mir berechnet worden.

In der **Erholungsphase** erreichen die **Tennisspieler** mit 410 ± 38 Hf, **Volleyballspieler** mit 402 ± 83 Hf und **Turner** mit 400 ± 74 Hf die **höchste Mehrherzschlagfrequenz**. Diese Sportler haben sich nicht schnell erholt, weil sie eine niedrige aerobe Kapazität und eine

geringe **Ausdauerleistungsfähigkeit** haben. Aber die **niedrigsten Werte** liegen bei den **Ausdauersportarten** bei der **Fußball WM 74** mit **304 ± 70 Hf**, beim **Triathlon** mit **319 ± 106 Hf** und bei der **Fußball WM 82** mit **327 ± 57 Hf**.

Hier beschreibt **NOWACKI N 1998**, dass die bessere kardiozirkulatorische Erholungsfähigkeit des Trainierten durch einen schnelleren zeitlichen Rückgang der Herzfrequenz nach maximaler Ausbelastung in Richtung auf eine Pulsfrequenz **100/min** und später in Richtung Ruhewerte gekennzeichnet ist.

Auch **NEUMANN H 1990** sieht darin eine noch unzureichend ausgebildete **Ausdauerleistungsfähigkeit** von vielen Sportlern aus den **kompensatorischen Sportarten**.

Die **Leistungsfähigkeit** des **HerzKreislaufsystems** steht mit der Ausdauerleistungsfähigkeit im Zusammenhang. Dabei ist das Verhalten der Herzfrequenz in Ruhe, bei submaximaler und maximaler Belastung sowie in der nachfolgenden Erholungsphase zu beurteilen (**ISRAEL u. Mitarb. 1974**).

In der Abb. 161 sind die Verläufe der **Herzfrequenzkurven** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Radfahrer (19 J, 70,5 kg, 177 cm)** im Vergleich zum **Taucher (17 J, 75,9 kg, 181 cm)** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** dargestellt.

In der **Leistungsphase** erreichen die Athleten eine **Mehrherzschlagfrequenz** beim **Hollmann-Verfahren** nach **$22,67 \pm 3,44$ Minuten** von **1931 ± 459 Hf**, bei der **0,5 W/kg KG-Methode** nach **$16,50 \pm 1,87$ Minuten** **1403 ± 288 Hf**, beim **BAL-Verfahren** nach **$12,00 \pm 2,98$ Minuten** **1243 ± 364 Hf**, beim **Knipping-Verfahren** nach **$10,83 \pm 4,45$ Minuten** **1231 ± 546 Hf** und bei der **1 W/kg KG-Methode** nach **$9,03 \pm 1,08$ Minuten** von **885 ± 196 Hf**.

Die **Athleten 2002** erreichen beim **Hollmann-Verfahren** nach **$24,78 \pm 1,72$ Minuten** **1920 ± 394 Hf** und bei der **1 W/kg KG-Methode** nach **$10,22 \pm 0,83$ Minuten** **937 ± 179 Hf**.

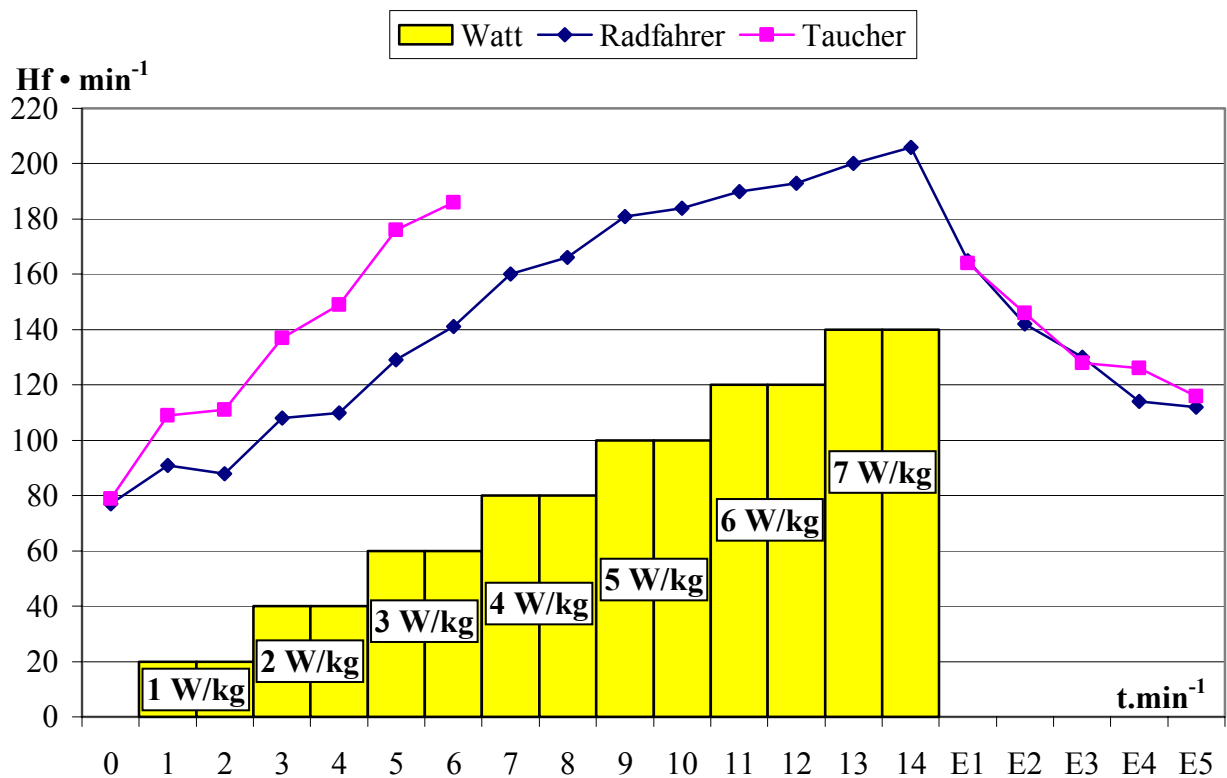


Abb. 161: Verhalten der Herzschlagfrequenz bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von einem Radfahrer im Vergleich zu einem Taucher.

Nach 5 Minuten Erholung erreichen die Athleten eine Mehrherzschlagfrequenz beim Hollmann-Verfahren mit 405 ± 53 Hf, bei der 0,5 W/kg KG- Methode mit 384 ± 53 Hf, beim BAL-Verfahren mit 389 ± 49 Hf, beim Knipping-Verfahren mit 368 ± 72 Hf und bei der 1 W/kg KG-Methode mit 387 ± 73 Hf.

Die Athleten 2002 erreichen nach 5 Minuten Erholung beim Hollmann-Verfahren 327 ± 65 Hf und bei der 1 W/kg KG-Methode 365 ± 94 Hf, was Folge der höheren anaeroben Ausbelastung der Sportler mit diesem Verfahren ist.

Ich begründe diese Unterschiede damit, dass die Belastungsverfahren eine unterschiedliche Leistungsdauer und Leistungsintensität haben.

Hier erwähnt auch EWALD 1998 bei seinem Vergleich der Testverfahren, dass die A- Jugendfußballspieler eine Leistungspulssumme während der Fahrradergometrie von $724 \pm 111 \text{ min}^{-1}$ und eine Erholungssumme von $358 \pm 68 \text{ min}^{-1}$ erreichten. Während der Laufbandergometrie belief sich die Leistungspulssumme auf $1524 \pm 216 \text{ min}^{-1}$ und die Erholungspulssumme stieg in einem weniger hohen Grad auf $431 \pm 66 \text{ min}^{-1}$ an. Ähnliche

Werte erzielten die Jugendlichen während und nach dem **Feldtest**. Dort hielten sich die **Leistungspuls-** und **Erholungspulssumme** mit $1599 \pm 162 \text{ min}^{-1}$ und $412 \pm 56 \text{ min}^{-1}$ in etwa im Rahmen des Laufbandtests.

Auch stellten **MÜLLER, KARRASCH** 1955 das Verhalten der Pulsfrequenz während und nach Ergometerarbeiten verschiedener Arbeitsdauer und Intensitäten bei einem Probanden fest (Abb. 162).

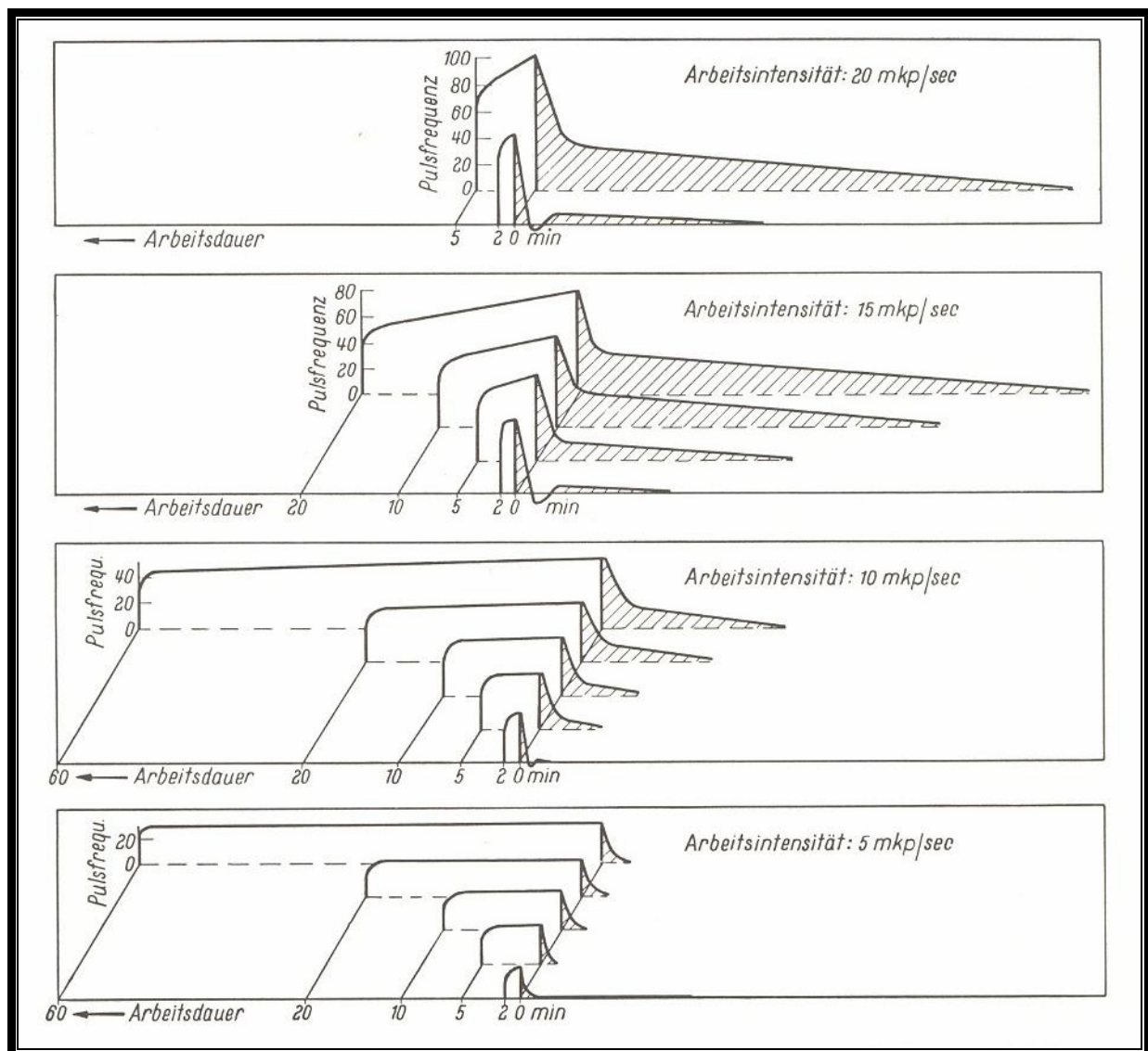


Abb. 162: Verhalten der Pulsfrequenz während und nach Ergometerarbeiten verschiedener Arbeitsdauer und Intensitäten bei einem Probanden. Die schraffierte Fläche stellt die Summe der Erholungs-Pulszahlen dar (nach **MÜLLER, KARRASCH** 1955).

Bei **erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhentaining** eine **Leistungspulssumme** von $1069 \pm 72 \text{ min}^{-1}$ und eine **Erholungssumme** von $355 \pm 45 \text{ min}^{-1}$. Nach dem **Höhentaining** erzielten die **Ruderer** eine **Leistungspulssumme** von $1175 \pm 92 \text{ min}^{-1}$ und eine **Erholungssumme** von $369 \pm 64 \text{ min}^{-1}$.

Die **Verbesserung der Sauerstofftransportkapazität** durch die Zunahme der **roten Blutkörperchen**, des **Hämoglobins** und des **Herzvolumens** sowie die Fähigkeit der **Muskulatur**, noch bei stärksten Säuregraden Arbeit zu leisten, d. h. also die **Vergrößerung der aeroben und anaeroben Kapazität** sind die wesentlichsten Faktoren, die auch nach Rückkehr im Flachland weiterwirken und so zu einer Steigerung der **körperlichen, biologischen** und sportlichen **Leistungsfähigkeit** beitragen können (**NOWACKI 1977**).

Die Messung des **arteriellen Blutdrucks** während der **Belastungsuntersuchung** dient neben der **Leistungsbeurteilung** auch zur **Differentialdiagnose** einer **normotensiven** oder **hypertensiven Belastungsregulation** sowie zur Beurteilung der Sportfähigkeit (**KINDERMANN 1987, HOLLMANN, HETTINGER 2000**).

Die Vorstellung über das Verhalten des arteriellen Drucks unter Belastungsbedingungen werden weitgehend von den Ergebnissen der indirekten Messung nach **RIVA-ROCCI** und **KOROTKOW** bestimmt (**MELLEROWICZ 1979, ROST, HOLLMANN 1982**).

Vor allem bei der Früherkennung **hypertoner Regulationsstörungen** als Folge einer **falschen Trainingsgestaltung** besonders bei jugendlichen Athleten ist die Blutdruckmessung von Bedeutung, da sie einen vertieften Einblick in den **Leistungs- und Trainingszustand** des kardiozirkulatorischen System gibt (**NOWACKI, ADAM, KRAUSE, RITTER 1971, DITTER, NOWACKI 1976, BRIEDIGKEIT, TITTMANN 1982**).

In **Ruhe** beträgt der **Blutdruck** bei der **untrainierten Gruppe** **145 / 90 mmHg**, bei der **befriedigend trainierten Gruppe** **135 / 85 mmHg**, bei der **gut trainierten Gruppe** **135 / 85 mmHg**, bei der **sehr gut trainierten Gruppe** **135 / 85 mmHg** und bei der **Hochleistungsgruppe** **140 / 90 mmHg**.

Der **Ruheblutdruck** beträgt bei gesunden 20-40jährigen Menschen etwa **120/80 mmHg**. Bei Ausdauersportlern ist der systolische Druck niedriger (ca **10-20 mmHg**), wohingegen der diastolische Druck um ca **10 mmHg** höher ist (**NOWACKI 1977, MELLEROWICZ 1979, BADTKE 1989**).

ISRAEL 1968 fand bei 471 Sportlern im Alter zwischen **17-35 Jahren** durchschnittliche **systolische Blutdruckwerte** vor der Belastung zwischen **115-125 mmHg**. Die **diastolischen Werte** lagen im Durchschnitt zwischen **70-80 mmHg**.

Die Blutdruckwerte in der Leistungsphase wurden nur bis zur 4. Minute bei 2 W/kg KG gemessen. Falls der Blutdruck bei dieser Belastung “ grenzwertig “ erhöht sein sollte, ist es möglich das systolische und diastolische Druckverhalten in Einzelfällen bis zur Erschöpfungsminute zu kontrollieren.

Der **submaximale Blutdruck** beträgt bei der **untrainierten Gruppe 205 / 95 mmHg**, bei der **befriedigend trainierten Gruppe 185 / 85 mmHg**, bei der **gut trainierten Gruppe 185 / 85 mmHg**, bei der **sehr gut trainierten Gruppe 175 / 80 mmHg** und bei der **Hochleistungsgruppe 175 / 80 mmHg**.

Der **maximale Blutdruck** beträgt bei der **untrainierten Gruppe 215 / 85 mmHg**, bei der **befriedigend trainierten Gruppe 195 / 75 mmHg**, bei der **gut trainierten Gruppe 200 / 75 mmHg**, bei der **sehr gut trainierten Gruppe 195 / 65 mmHg** und bei der **Hochleistungsgruppe 200 / 65 mmHg**.

Ein systolischer Blutdruckanstieg bis zu **230 mmHg** wird von **NÖCKER 1964** nach hoher körperlicher Belastung als physiologisch angesehen.

NOWACKI 1977 beobachtete bei seinen Untersuchungen von Hochleistungssportlern im **Vita-Maxima-Bereich** Blutdruckwerte von **250-280 mmHg** systolisch mit dazugehörigen diastolischen Werten von **90-110 mmHg**. In Extremfällen bei **Kraft-Ausdauersportlern** (**Rudern**) hat **NOWACKI 1977** bei Leistungen zwischen 450 und 500 Watt schon Blutdruckwerte von **310/110 mmHg** gemessen. Er interpretiert dies so, dass bei körperlicher Belastung der systolische Blutdruck ansteigen muss, damit entsprechend dem erhöhten Minutenvolumen das Druckgefälle und die Strömungsgeschwindigkeit größer werden kann.

AIGNER 1986 findet bei hoher kardiozirkulatorischer Ausbelastung von Trainierten und Untrainierten hypertone Werte von **200 bis 230 mmHg**, in Einzelfällen sogar **280 bis 320 mmHg** für den systolischen Blutdruck.

Der **Blutdruck** erreicht nach **fünfminütiger Erholung** bei der **untrainierten Gruppe 165 / 80 mmHg**, bei der **befriedigend trainierten Gruppe 145 / 75 mmHg**, bei der **gut trainierten Gruppe 150 / 75 mmHg**, bei der **sehr gut trainierten Gruppe 150 / 70 mmHg** und bei der **Hochleistungsgruppe mit 155 / 70 mmHg**.

Diese relativ schnelle Annäherung nach **Belastungsende** an die Ruhewerte lässt auf einen guten **Trainingszustand** des **Herz-Kreislaufsystems** der Probanden schließen (**ISRAEL** 1982).

5.3 Respiratorische Leistungsfähigkeit

Die **respiratorische Leistungsfähigkeit** eines Menschen wird durch das **maximale Atemminutenvolumen** (**AMV l BTPS**) als Produkt der **Atemfrequenz** (**Af • min⁻¹**) und des **Atemzugvolumens** (**AZV ml • BTPS**) bei erschöpfender körperlicher Belastung charakterisiert (**HOLLMANN, MADER** 1988, **McARDLE, F. KATCH, V. KATCH** 1996).

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die **untrainierte Gruppe** ein **maximales Atemminutenvolumen** von **94 ± 22 l BTPS**, die **befriedigend trainierte Gruppe** von **112 ± 23 l BTPS**, die **gut trainierte Gruppe** von **117 ± 27 l BTPS**, die **sehr gut trainierte Gruppe** von **136 ± 28 l BTPS** und die **Hochleistungsgruppe** von **171 ± 30 l BTPS** erreicht.

Bei **MOHAMMED**1999 ist die **Klassifizierung** des **maximalen Atemminutenvolumens** (Tab. 70) im Vergleich zu anderen biologischen Leistungsparametern relativ variabel und grob orientierend. So kann ein Sportler mit einem **Max. AMV** von **120 l BTPS** durchaus in allen anderen Bereichen sehr gut trainierte Werte aufweisen und umgekehrt auch nur gerade befriedigend trainiert sein.

**Tabelle. 70: Zuordnung des maximalen Atemminutenvolumens (max. AMV l BTPS)
zum Trainingszustand**

Beurteilung des Trainingszustandes	Max. AMV l BTPS
Absolute Hochleistung	> 200
Sehr gut trainiert / überwiegend Hochleistung	150 – 199
Gut trainiert / teilweise sehr gut	125 – 149
Befriedigend trainiert / teilweise gut	100 – 124
Teilweise noch untrainiert / Übergang befriedigend trainiert	85 – 99
Untrainierte Bereich für gesunde Männer	70 – 84

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen das **höchste Maximale Atemminutenvolumen** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, z.B. bei der **Fußball WM 82** mit 157 ± 26 l BTPS, beim **Rudern** mit 146 ± 24 l BTPS, beim **Handball** 145 ± 21 l BTPS, beim **Radfahren** mit 145 ± 39 l BTPS. Die **niedrigsten Werte** sind bei der **Fußball WM 74** mit 100 ± 25 l BTPS und beim **Tischtennis** mit 103 ± 23 l BTPS, beim **Badminton** mit 104 ± 25 l BTPS und bei den **Tauchern** mit 105 ± 16 l BTPS registriert worden.

So stellten **DITTER, NOWACKI** 1976 bei ihren Untersuchungen an **27 WM-Ruderern** ein **maximales Atemminutenvolumen** von $156,1 \pm 27,3$ l BTPS fest.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen **KINDERMANN, HUBER, KEUL** 1975 bei ihren Untersuchungen an **7 Skilangläufern** der mittleren nationalen Klasse, die ein maximales Atemminutenvolumen von $151,0 \pm 15,9$ l BTPS aufwiesen.

Beim **Knipping-Verfahren** erreichen die sehr gut trainierten Probanden ein **Maximales Atemminutenvolumen** von 137 ± 32 l BTPS, beim **BAL-Verfahren** 141 ± 27 l BTPS, beim **Hollmann-Verfahren** 143 ± 34 l BTPS, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** 146 ± 25 l BTPS und bei der **1 W/kg KG-Methode** 154 ± 34 l BTPS.

Die **Athleten 2002** erzielen ein **Maximales Atemminutenvolumen** von **138 ± 16 l BTPS** bei der **1 W/kg KG-Methode** und beim **Hollmann-Verfahren** **131 ± 19 l BTPS**.

ZHAO 1995 erwähnt, dass die sehr gut trainierten Probanden ein maximales Atemminutenvolumen beim **BAL-Verfahren** mit **145 ± 30 l BTPS**, beim **Knipping-Verfahren** **147 ± 28 l BTPS**, beim **Hollmann-Verfahren** **148 ± 26 l BTPS**, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** **152 ± 24 l BTPS** und bei der **1 W/kg KG-Methode** mit **157 ± 29 l BTPS** erreichen können.

Das **Maximale Atemminutenvolumen vor dem Höhenttraining** beträgt **153 ± 14 l BTPS** und **nach dem Höhenttraining** **176 ± 13 l BTPS**. Der Unterschied zwischen **vor** und **nach dem Höhenttraining** mit **23 l BTPS** ist **sehr signifikant ($P \leq 0,01$)**.

1972 haben **ADAM, NOWACKI** u. Mitarb. in Ratzeburg den **Olympia-Achter** nach dem **Adam-Training** untersucht. Die Ruderer erzielten ein **Maximales Atemminutenvolumen** von **$171,3 \pm 28,8$ l BTPS (NOWACKI 1980)**.

NOWACKI 1977 erwähnt auch, dass bei den Spitzenrudermannschaften das durchschnittliche **max. AMV BTPS** über **170 l BTPS** liegt.

In der **Leistungsphase** erreicht die **untrainierten Gruppe** eine **Gesamtventilation** von **294 ± 54 l BTPS**. Davon sind **50 % aerober** und **50 % anaerober Anteil**. Sie erreicht eine **Mehrventilation** von **245 ± 50 l BTPS**.

Die **befriedigend trainierte Gruppe** hat eine **Gesamtventilation** von **392 ± 72 l BTPS**. Davon sind **32% aerober** und **68 % anaerober Anteil**. Sie erreicht eine **Mehrventilation** von **340 ± 68 l BTPS**.

Die **gut trainierte Gruppe** erreicht eine **Gesamtventilation** von **478 ± 110 l BTPS**. Davon sind **35% aerober** und **65 % anaerober Anteil**. Sie erreicht eine **Mehrventilation** von **414 ± 95 l BTPS**.

Die **sehr gut trainierte Gruppe** erreicht eine **Gesamtventilation** von 603 ± 120 l BTPS. Davon sind **44% aerober**, **56 % anaerober Anteil**. Sie haben eine **Mehrventilation** von 537 ± 116 l BTPS.

Die **Hochleistungsgruppe** haben eine **Gesamtventilation** von 915 ± 145 l BTPS. Davon sind **39% aerober** und **61 % anaerober Anteil**. Sie erreicht eine **Mehrventilation** von 836 ± 145 l BTPS.

In der **Erholungsperiode** erreicht die **untrainierten Gruppe** eine **Mehrventilation** von 204 ± 49 l BTPS, die **befriedigend trainierte Gruppe** von 227 ± 52 l BTPS, die **gut trainierte Gruppe** von 233 ± 63 l BTPS, die **sehr gut trainierte Gruppe** von 248 ± 66 l BTPS und die **Hochleistungsgruppe** von 323 ± 77 l BTPS.

MATHEWS, FOX 1976 stellen das vergleichend für das Atemminutenvolumen bei trainierten und untrainierten Probanden in Abb. 163a und 163b dar.

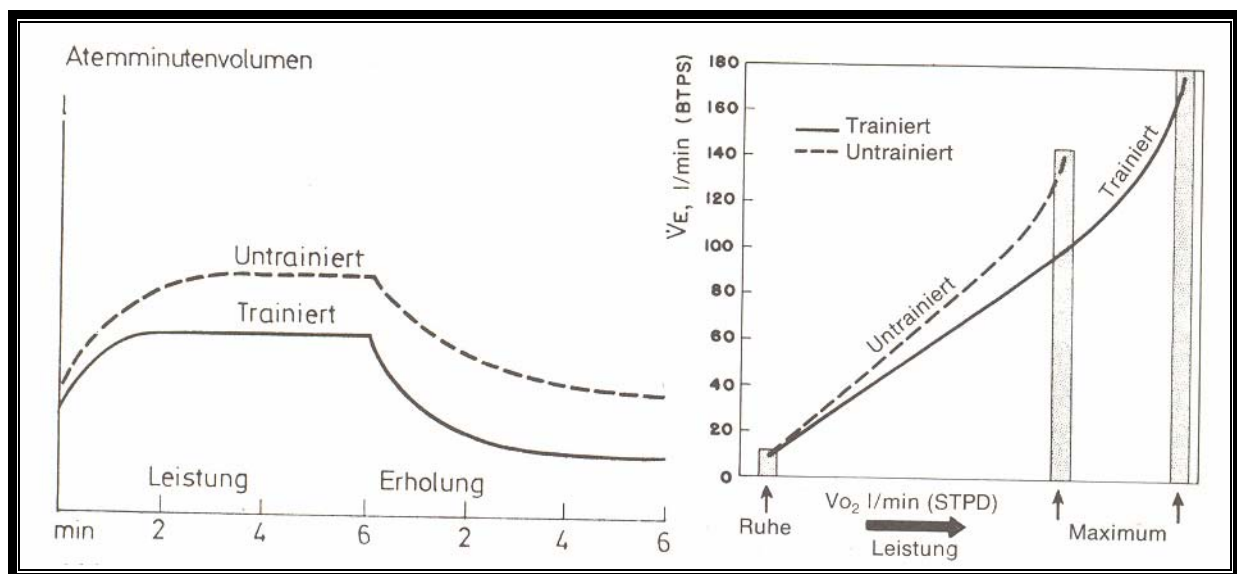


Abb. 163a: Vergleichende schematische Darstellung des Atemminutenvolumen einer untrainierten und einer dauer-trainierten Person während und nach gleicher Leistung.

Abb. 163b: Vergleichende Darstellung des Atemminutenvolumen bei untrainierten und trainierten Probanden (nach MATHEWS, FOX 1976).

In der **Leistungsphase** erreichen die **Kraft-Ausdauersportarten** die **höchste Gesamt- und Mehrventilationen** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, z.B. beim **Radfahren** eine **Gesamtventilation** von **740 ± 249 l BTPS** und eine **Mehrventilation** von **668 ± 241 l BTPS**, bei der **Fußball WM 82** eine **Gesamtventilation** von **674 ± 104 l BTPS** und eine **Mehrventilation** von **608 ± 101 l BTPS**, beim **Rudern** eine **Gesamtventilation** von **643 ± 175 l BTPS** und eine **Mehrventilation** von **574 ± 170 l BTPS** und beim **Triathlon** eine **Gesamtventilation** von **643 ± 74 l BTPS** und eine **Mehrventilation** von **575 ± 72 l BTPS**. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** eine **Gesamtventilation** von **327 ± 57 l BTPS** und eine **Mehrventilation** von **279 ± 56 l BTPS**, beim **Tischtennis** eine **Gesamtventilation** von **388 ± 94 l BTPS** und eine **Mehrventilation** von **338 ± 89 l BTPS** und beim **Boxen** eine **Gesamtventilation** von **392 ± 35 l BTPS** sowie eine **Mehrventilation** von **344 ± 35 l BTPS**.

In der **Erholungsphase** erreichen die **Kraft-Ausdauersportarten** auch die **höchste Mehrventilation**, z.B. beim **Handball** von **298 ± 70 l BTPS**, beim **Rudern** von **292 ± 71 l BTPS**, beim **Triathlon** von **271 ± 49 l BTPS** und bei der **Fußball WM 82** von **265 ± 69 l BTPS**. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Skilanglauf** von **203 ± 42 l BTPS**, beim **Tauchen** von **204 ± 27 l BTPS** und beim **Fußball WM 74** von **205 ± 66 l BTPS** registriert und berechnet worden.

Hier erwähnt **MELLEROWICZ 1979**, dass durch **Training (Mittelstrecken- und Dauerleistungstraining)** das maximale **Atemminutenvolumen** erheblich **gesteigert** werden kann. Bei gleichen sportlichen Leistungen (z. B. 3000m Lauf in 12 min) ist das Atemminutenvolumen des trainierten Läufers kleiner. Bei gleichen ergometrischen Leistungen ist bei Trainierten das Atemminutenvolumen nur wenig kleiner. Die Unterschiede werden jedoch mit zunehmender Leistung größer (**KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER 1956**).

In der **Leistungsphase** erreichen die **sehr gut trainierten Probanden** bei der **1 W/kg KG-Methode** eine **Gesamtventilation** von **695 ± 143 l BTPS**. Davon sind **35% aerober**, **65 % anaerober Anteil** und eine **Mehrventilation** von **626 ± 68 l BTPS**. Beim **BAL-Verfahren** erreichen die **Probanden** eine **Gesamtventilation** von **913 ± 340 l BTPS**. Davon sind **23% aerober**, **77 % anaerober Anteil**, **Mehrventilation** **821 ± 312 l BTPS**. Beim **Knipping-Verfahren** beträgt die **Gesamtventilation** **989 ± 516 l BTPS**. Davon sind **12% aerober** und

88 % anaerober Anteil, sowie eine **Mehrventilation** von **905 ± 477 l BTPS**. Bei der **0,5 W/kg KG- Methode** wird eine **Gesamtventilation** von **1020 ± 146 l BTPS** erreicht. Davon sind **30% aerober, 70 % anaerober Anteil** und **895 ± 128 l BTPS Mehrventilation**. Beim **Hollmann-Verfahren** haben diese Probanden eine **Gesamtventilation** von **1331 ± 440 l BTPS**. Davon sind **41% aerober, 59 % anaerober Anteil** und **1157 ± 399 l BTPS Mehrventilation**.

Die **Athleten 2002** erzielen bei der **1 W/kg KG-Methode** eine **Gesamtventilation** von **679 ± 124 l BTPS**. Davon sind **46% aerober, 54 % anaerober Anteil** und **601 ± 125 l BTPS Mehrventilation** . Beim **Hollmann-Verfahren** wird eine **Gesamtventilation** von **1478 ± 251 l BTPS** erreicht. Davon sind **49% aerober, 51 % anaerober Anteil** und die **Mehrventilation** beträgt **1288 ± 249 l BTPS**.

In der **Erholungsphase** erreichen die **sehr gut trainierten Probanden** bei der **1 W/kg KG-Methode** eine **Mehrventilation** von **291 ± 73 l BTPS**, beim **BAL-Verfahren** von **270 ± 71 l BTPS**, beim **Knipping-Verfahren** von **247 ± 53 l BTPS**, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** von **283 ± 67 l BTPS** und beim **Hollmann-Verfahren** von **267 ± 66 l BTPS**.

Die **Athleten 2002** erzielen in den **5E** bei der **1 W/kg KG-Methode** eine **Mehrventilation** von **223 ± 26 l BTPS** und beim **Hollmann-Verfahren** von **193 ± 52 l BTPS**.

Wir finden hier, dass die **Gesamt- und Mehrventilation** in der **Leistungsphase** von der Dauer der Leistung und in der Erholungsphase von der Intensität der Leistung abhängig ist.

In der **Leistungsphase** liegt die **Gesamtventilation** vor dem **Höhentraining** mit **956 ± 110 l BTPS** und nach dem **Höhentraining** mit **1162 ± 111 l BTPS**. Die **Mehrventilation** beträgt vor dem **Höhentraining** **859 ± 108 l BTPS** und nach dem **Höhentraining** **1057 ± 110 l STPD**.

In der **Erholungsphase** beträgt die **Mehrventilation** vor dem **Höhentraining** **276 ± 16 l BTPS** und nach dem **Höhentraining** **346 ± 60 l BTPS**.

Die **Elite-Ruderer** können in der **Leistungsphase** eine **Gesamtventilation** von **1258 ± 157 l BTPS** und nach **10 Minuten Erholung** **685 ± 129 l BTPS** erzielen (**NOWACKI 1980**).

5.4 Kardiorespiratorische Funktionsgrößen

Die **maximale Sauerstoffaufnahme** ist ein Maß der **aeroben** und **anaeroben Leistungsfähigkeit** und dient zugleich zur Kennzeichnung der oberen Funktionsamplitude der Sauerstofftransportkette, d.h. von **Atmung - Sauerstoffbindungskapazität** des Blutes – **Herzzeitvolumen** – **Sauerstoffausnutzung** in der Peripherie. Deshalb ist es wichtig, bei der spiroergometrischen Untersuchung die wirkliche reale maximale Sauerstoffaufnahme des Probanden zu ermitteln (**QIU** 1982, **ÅSTRAND** 1986, **NOWACKI** 1987, **JÜNGST** 1993).

Die **maximale Sauerstoffaufnahme** wird während der **letzten** bzw. vorletzten **Belastungsstufe**, meist jedoch in der Erschöpfungsminute während einer ergometrischen Belastung auf dem Fahrrad, erreicht. **NOWACKI** 1975 weist deshalb darauf hin, dass die maximalen Sauerstoffaufnahmewerte nicht mit der **maximalen aeroben Kapazität** oder gar Sauerstoff-Dauerleistungsgrenze identisch sind. Die *maximale Sauerstoffaufnahme* ist vielmehr der **integrale Grenzwert** der **maximalen aeroben u n d maximalen anaeroben Kapazität** eines Sportlers.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die **untrainierte Gruppe** eine **maximale Sauerstoffaufnahme** von 2962 ± 512 l STPD, die **befriedigend trainierte Gruppe** von 3525 ± 517 l STPD, die **gut trainierte Gruppe** von 3866 ± 579 l STPD, die **sehr gut trainierte Gruppe** von 4341 ± 679 l STPD und die **Hochleistungsgruppe** von 5101 ± 455 l STPD erreicht.

Bei **untrainierten Männern** liegt die maximale Sauerstoffaufnahme zwischen **2,0 – 3,0** l STPD (**KRAUSE** 1971, **DRANSFELD** 1975, **HOLLMANN** u. Mitarb. 1980).

Das **Überschreiten** einer Sauerstoffaufnahme von **3 l STPD** wird bei einem ca. **75 kg** schweren Mann als **Grenzbereich** zwischen dem **untrainierten** und **trainierten** Bereich angesehen (**NOWACKI** 1973).

Durch ein systematisches, intensives Ausdauertraining sind bei **Kraft-Ausdauer-Sportlern** im **Vergleich** zu **Untrainierten** eine bis zu mehr als **doppelt** so hohe maximale absolute Sauerstoffaufnahme zu registrieren (**NOWACKI, KRAUSE, ADAM, RULFFS** 1971).

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen die **höchste Maximale Sauerstoffaufnahme** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, wie bei der **Fußball WM 82** mit 4747 ± 428 ml STPD, beim **Rudern** mit 4477 ± 575 ml STPD, beim **Handball** mit 4434 ± 613 ml STPD, beim **Radfahren** mit 4380 ± 925 ml STPD. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit 2904 ± 294 ml STPD, beim **Tischtennis** mit 3179 ± 391 ml STPD und beim **Boxen** mit 3302 ± 353 ml STPD $\dot{V}O_2$ max gemessen worden.

Die **maximale absolute Sauerstoffaufnahme** von Spitzenrudermannschaften im Vergleich zu anderen Sportarten sind in der Abb. 164 dargestellt (nach **NOWACKI** 1977).

Beim **Knipping-Verfahren** erreichen die sehr gut trainierten Probanden eine **Maximale Sauerstoffaufnahme** von 4282 ± 876 l STPD, beim **BAL-Verfahren** 4320 ± 772 l STPD, beim **Hollmann-Verfahren** 4388 ± 800 l STPD, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** 4401 ± 620 l STPD und bei der **1 W/kg KG-Methode** 4566 ± 723 l STPD.

Die **Athleten 2002** erzielen ein **Maximale Sauerstoffaufnahme** von 4548 ± 527 l STPD bei der **1 W/kg KG-Methode** und beim **Hollmann-Verfahren** 3808 ± 599 l STPD.

KLAUSEN, SCHEELE, KLAUS 1972 vergleichen **3 verschiedene farradergometrische Methoden**. Die **Erste** beginnt mit **100 Watt**, **Steigerung** nach **6 Minuten** auf **150 Watt**, dann **Steigerung alle 6 Minuten** um **25 Watt**. Die **Zweite** bei der **6 Minuten** lang eine Leistung von **200 Watt** gefordert wurde und die **Dritte** beginnt mit **50 Watt**, **Steigerung** jede Minute um **25 Watt**. Die in Münster am Lehrstuhl für Sportmedizin durchgeführten Vergleichsuntersuchungen erbrachten keine signifikanten Unterschiede für die maximale absolute O_2 -Aufnahme.

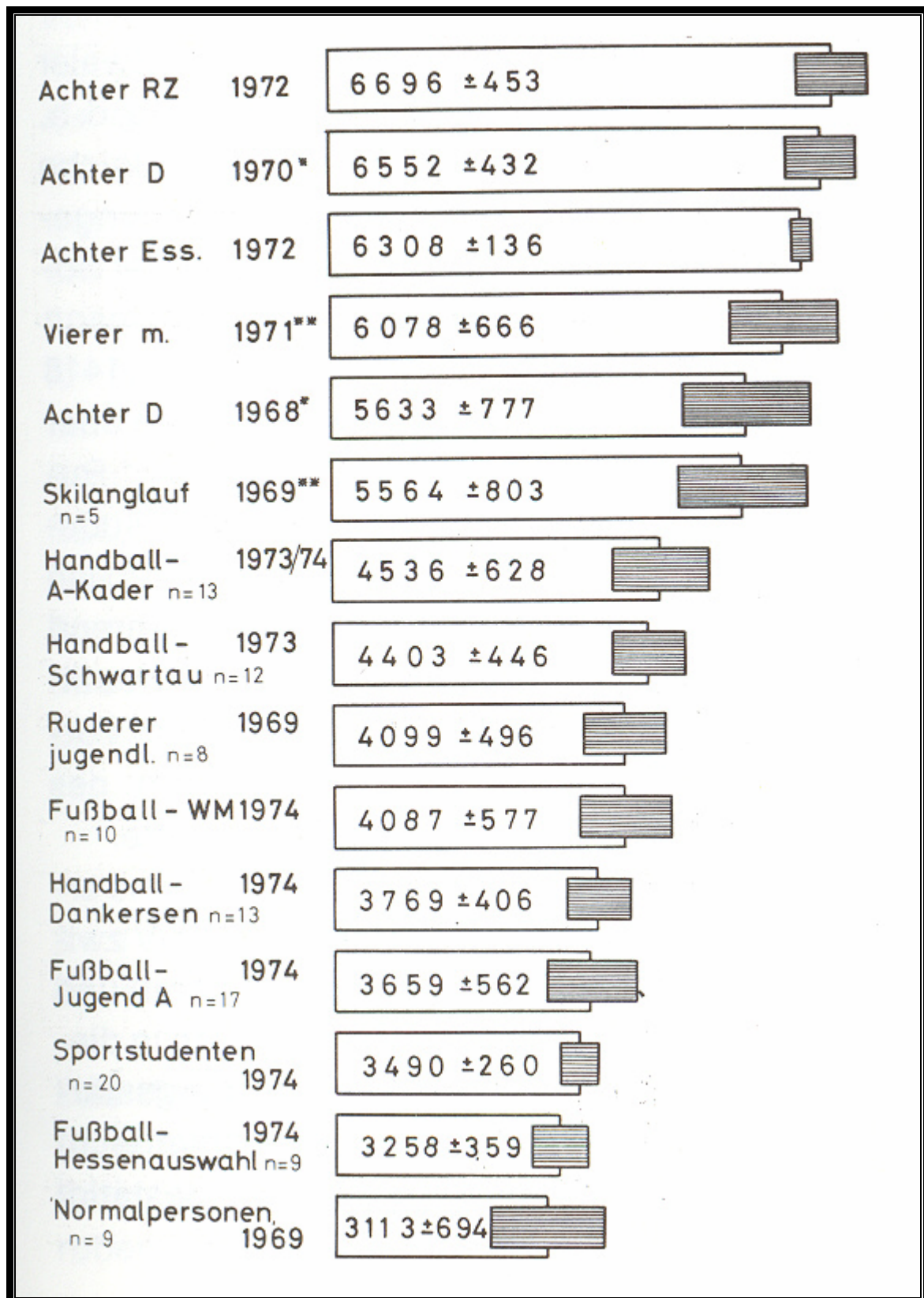


Abb. 164: Die maximale absolute Sauerstoffaufnahme von Spitzenrudermannschaften im Vergleich zu anderen Sportarten (nach NOWACKI 1977).

(*) nach einem Höhentraining (**) unter Hypoxiebedingungen in 2045 m Höhe

Bei **ZHAO 1995** erreichen die sehr gut trainierten Probanden eine **Maximale Sauerstoffaufnahme** beim **Knipping-Verfahren** von 4561 ± 747 l STPD, beim **BAL-Verfahren** 4685 ± 815 l STPD, beim **Hollmann-Verfahren** 4698 ± 747 l STPD, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** 4721 ± 603 l STPD und bei der **1 W/kg KG-Methode** 4936 ± 832 l STPD.

Bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Maximale Sauerstoffaufnahme** von 5680 ± 527 ml STPD und **nach dem Höhenttraining** von 6459 ± 531 ml STPD.

Fast ähnlich, wie **NOWACKI 1977** berichtet, erreichten die **WM-Achter der BRD 1970 nach dem Höhenttraining** eine **Maximale Sauerstoffaufnahme** von 6552 ± 432 ml STPD und der **Deutschland-Achter 1969** 5633 ± 777 ml STPD.

Die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** ist ein **Maß** für die **Ausdauerleistungsfähigkeit**. Ihr kommt eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Athleten und Athletinnen unterschiedlichen Körpergewichtes zu (**NOWACKI 1978**).

Weiterhin ist zu beachten, dass es zwischen **Kindern, Jugendlichen, untrainierten Männern und Frauen** keine wesentlichen Unterschiede gibt. Dies macht die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** für die **Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit** bei in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befindlichen Kindern und Jugendlichen besonders wertvoll (**HOLLMANN 1986**).

In den USA sieht man in der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme eine sehr bedeutende biologische Talentgröße (**NOWACKI N 1998**).

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die **untrainierte Gruppe** eine **maximale relative Sauerstoffaufnahme** von 36 ± 6 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD, die **befriedigend trainierte Gruppe** von 46 ± 5 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD, die **gut trainierte Gruppe** von 52 ± 7 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD, die **sehr gut trainierte Gruppe** von 59 ± 7 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD und die **Hochleistungsgruppe** von 71 ± 8 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ STPD erreichen können.

Die **Beurteilungskriterien** für die **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** entsprechen in Übereinstimmung mit **P.E. NOWACKI 1987, N.S. NOWACKI 1998** unseren Mittelwerten und 1 Sigma- Streuungsbereichen (Tab. 71).

Tabelle. 71: Beurteilungskriterien für die Maximale relative Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) von Männern und Frauen als Kriterium der integralen aeroben und anaeroben Kapazität (P.E. NOWACKI 1987, N.S. NOWACKI 1998)

Männer	$\dot{V}O_2 \text{ max ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$	Frauen
Weltklasse	81 - 92	"noch nicht erreicht"
Übergang \updownarrow	76 - 80	Weltklasse (+)
Hochtrainiert	71 - 75	Weltklasse (-)
Sehr gut trainiert (+)	66 - 70	\updownarrow Übergang
Sehr gut trainiert (-)	61 - 65	Hochtrainiert
Gut trainiert (+)	56 - 60	\updownarrow Übergang
Gut trainiert (-)	51 - 55	Sehr gut trainiert
Befriedigend trainiert (+)	46 - 50	Gut trainiert
Befriedigend trainiert (-)	41 - 45	Befriedigend trainiert
Untrainiert (+)	36 - 40	\updownarrow Übergang
Untrainiert (-)	31 - 35	Untrainiert (+)
Leistungsschwach (+)	26 - 30	Untrainiert (-)
Leistungsschwach (-)	21 - 25	Leistungsschwach
Pathologisch	11 - 20	Pathologisch

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen die **höchste Maximale relative Sauerstoffaufnahme** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, z.B. beim **Radfahren** mit $63 \pm 14 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, bei der **Fußball WM 82** mit $60 \pm 6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und beim **Rudern** mit $59 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit $38 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **Bodybuilding** mit $42 \pm 10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und beim **Tischtennis** mit $44 \pm 7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ gemessen worden.

Die **maximale relative Sauerstoffaufnahme** von Spitzenrudermanschaften im Vergleich zu anderen Sportarten sind in der Abb. 165 dargestellt (nach **NOWACKI 1977**).

Beim **Knipping-Verfahren** erreichen die sehr gut trainierten Probanden eine **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** von $57 \pm 10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **BAL-Verfahren** $57 \pm 9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **Hollmann-Verfahren** $58 \pm 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** $58 \pm 7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und bei der **1 W/kg KG- Methode** $61 \pm 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Die **Athleten 2002** erzielen eine **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** von $60 \pm 9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ bei der **1 W/kg KG-Methode** und beim **Hollmann-Verfahren** nur $51 \pm 11 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Die von sehr gut trainierten Athleten bei der **1 W/kg KG-Methode** erreichte **maximale relative Sauerstoffaufnahme** ist mit einem Durchschnittswert von $66 \pm 11 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ größer als bei allen anderen Methoden (**Hollmann-Verfahren** $63 \pm 9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, **BAL** $62 \pm 10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, **Knipping** $61 \pm 10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und **0,5 W/kg KG- Methode** $64 \pm 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) (**ZHAO 1995**).

Bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Maximale relative Sauerstoffaufnahme** von $61 \pm 6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und **nach dem Höhenttraining** von $69 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Ähnliche Werte fand **NOWACKI 1977**. Die **WM-Achter der BRD 1970** erreichten **nach dem Höhenttraining** eine **Maximale Sauerstoffaufnahme** von $70 \pm 4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und der **Deutschland-Achter 1969** $61 \pm 4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

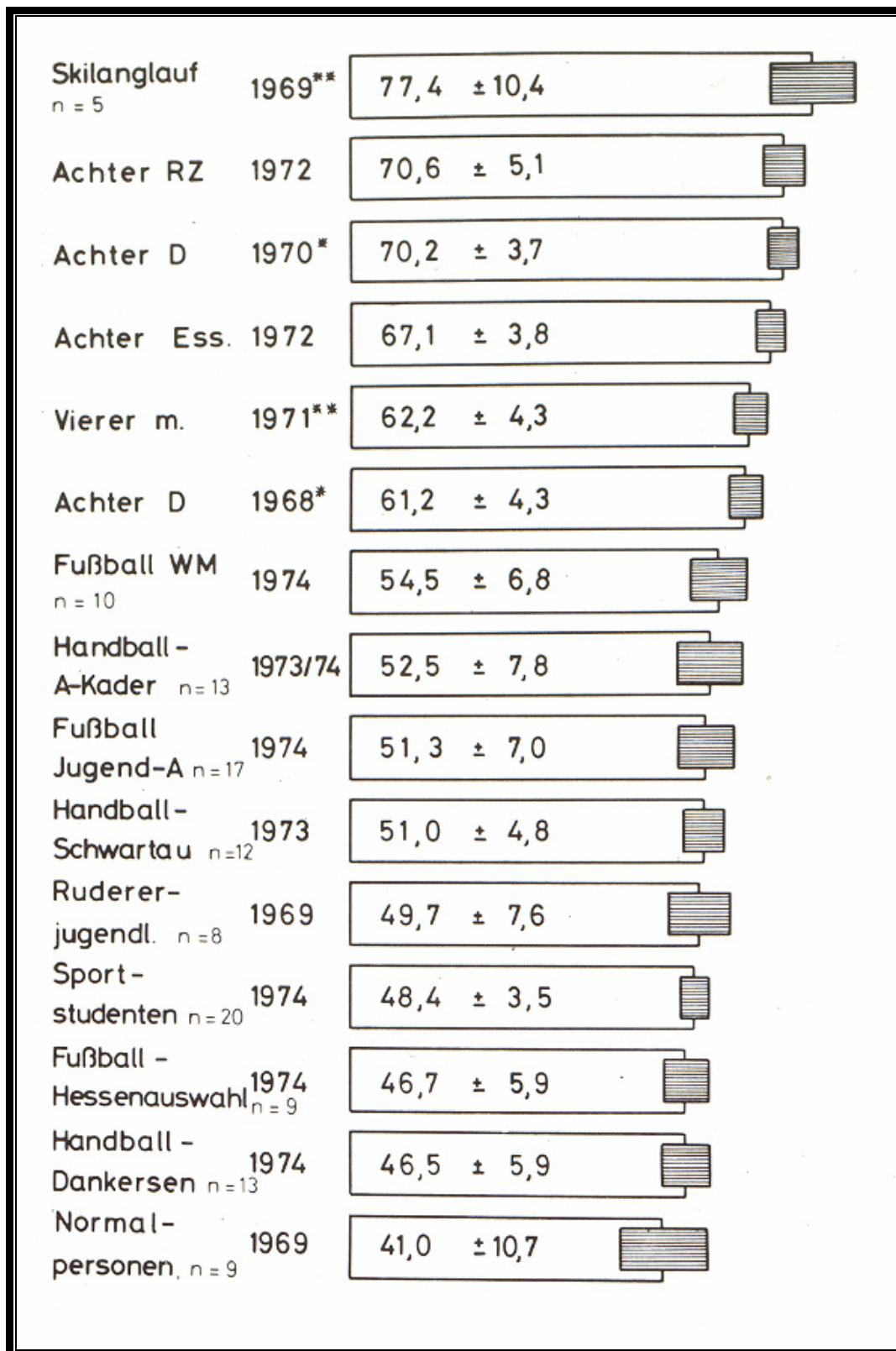


Abb. 165: Die maximale relative Sauerstoffaufnahme von Spitzenrudermannschaften im Vergleich zu anderen Sportarten (nach NOWACKI 1977).

(*) nach einem Höhenttraining (**) unter Hypoxiebedingungen in 2045 m Höhe

Eine weitere Möglichkeit zur **Beurteilung der körperlichen und kardiorespiratorischen Leistung**, von der **pathologisch** eingeschränkten Belastbarkeit, über **leistungsschwach**, normal **gesund untrainiert** sowie verschieden hoch **trainiert** bis zum **Hochleistungstrainingszustand**, ist durch die unblutige Messung des **maximalen Sauerstoffpulses** ($\dot{V}O_2/Hf$ ml STPD) gegeben (**ÅSTRAND** 1952, **REINDELL** u. Mitarb. 1967, **ISRAEL** 1968, **NOWACKI** 1973, 1977, **MELLEROWICZ** 1979, **NÖCKER** 1980, **ROST** 1981, **HOLLMANN** 1986, 1990, **SCHÖLL** 1995).

Der Begriff “ **Sauerstoffpuls** “ wurde von **ÅSTRAND** schon 1948 eingeführt (zit. 1952). Es handelt sich um diejenige **Menge Sauerstoff**, welche in der Zeit einer gesamten **Herzaktion** (**Systole + Diastole**) im Körper transportiert wird. Zwischen der Herzfrequenz, der Sauerstoffaufnahme und der körperlichen Leistung bestehen gesetzmäßige Beziehungen, was auch später durch **WAHLUND** 1948 und **SJÖSTRAND** 1967 bestätigt wurde.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die **untrainierte Gruppe** einen **maximalen Sauerstoffpuls** von 17 ± 4 ml, die **befriedigend trainierte Gruppe** von 20 ± 3 ml, die **gut trainierte Gruppe** von 22 ± 4 ml, die **sehr gut trainierte Gruppe** von 24 ± 4 ml und die **Hochleistungsgruppe** von 27 ± 2 ml $O_2/Hf \cdot \min^{-1}$ STPD erreichen können.

NÖCKER, BÖHLAU 1958 geben für den **maximalen Sauerstoffpuls** bei **untrainierten Männern** Werte von $12-16$ ml $O_2/Hf \cdot \min^{-1}$ STPD an.

HOLLMANN 1959 ermittelt bereits bei **18- bis 19jährigen untrainierten männlichen Probanden** einen mittleren **maximalen Sauerstoffpuls** von 17 ml $O_2/Hf \cdot \min^{-1}$ STPD.

Untrainierte Männer im Alter von 20 bis 40 Jahren erreichen einen **maximalen Sauerstoffpuls** von $14-16$ ml, **befriedigend trainierte** von $18-20$ ml, **gut trainierte** von $21-24$ ml und **sehr gut trainierte Sportler** Wert zwischen 25 bis 30 ml $O_2/Hf \cdot \min^{-1}$ STPD (**NOWACKI** 1977).

Bei $1,0-4,9$ h Training/Woche erreichen Athleten mittleren Alters einen **maximalen Sauerstoffpuls** von 17 ± 5 ml, bei $5,0-9,9$ Stunden 20 ± 5 ml, bei **mehr als 10 h** Training/Woche wurde ein Durchschnittswert von 24 ± 5 $O_2/Hf \cdot \min^{-1}$ STPD gemessen (**SCHÖLL** 1995).

Die **Kraft-Ausdauersportarten** erreichen den **höchsten Maximalen Sauerstoffpuls** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, z.B. bei der **Fußball WM 82** mit $27 \pm 3 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **Handball** mit $25 \pm 3 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und beim **Rudern** mit $25 \pm 3 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit $16 \pm 2 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **Tischtennis** mit $17 \pm 2 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und beim **Boxen** mit $18 \pm 2 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ gemessen worden.

Mit Hilfe eines gezielten **Ausdauertrainings** lässt sich der **Maximale Sauerstoffpuls** erheblich steigern (**SCHÖLL 1995**).

In der gleichen Größenordnung liegen die von **BACHL, PROKOP 1977** gemessenen **Maximalen Sauerstoffpulse** von **österreichischen Fußballmannschaften** der **I. und II. Division** mit **22 bis 25 ml O₂/Hf • min⁻¹ STPD**. Bei der österreichischen **Nationalmannschaft 1977** wurde vor der **WM 1978 in Argentinien** ein **Maximaler Sauerstoffpuls** von $23 \pm 2 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ registriert. Dies war die **konditionelle Grundlage** für den **3:2 Sieg** über Deutschland in Cordoba bei der WM 1978 in Argentinien. Die deutsche **DFB-Auswahl** wurde vor der WM 1978 in **Köln** untersucht. **HOLLMANN** bescheinigte ihr in der Bild-Zeitung **bessere Werte** als bei **Straßenradfahrern!**

SMODLAKA 1978 gibt den **Maximalen Sauerstoffpuls** von $24 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ als Durchschnittswert von **44 DDR-Fußballauswahlspielern** an, der ihm von **ISRAEL** mitgeteilt wurde.

Beim **Knipping-Verfahren** erreichen die sehr gut trainierten Probanden einen **Maximalen Sauerstoffpuls** von $23 \pm 5 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **BAL-Verfahren** $23 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, beim **Hollmann-Verfahren** $23 \pm 5 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** $23 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und bei der **1 W/kg KG-Methode** $25 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Die **Athleten 2002** erzielten einen **Maximalen Sauerstoffpuls** von $25 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ bei der **1 W/kg KG-Methode** und beim **Hollmann-Verfahren** $21 \pm 3 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Der von sehr gut trainierten Athleten bei der **1 W/kg KG-Methode** erreichte **Maximale Sauerstoffpuls** ist mit einem Durchschnittswert von $27 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ größer als bei allen anderen Methoden (**Hollmann-Verfahren** $25 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, **BAL** $25 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$, **Knipping** $25 \pm 4 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und **0,5 W/kg KG- Methode** $25 \pm 3 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$) (**ZHAO 1995**).

Bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode erreichten die Ruderer vor dem Höhenttraining einen Maximalen Sauerstoffpuls von $31 \pm 3 \text{ ml} \cdot \text{Hf}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ und nach dem Höhenttraining von $35 \pm 3 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$.

Nach einem dreiwöchigem Höhenttraining auf dem Silvretta-Stausee konnten 9 Ersatzleute der Ruder-Nationalmannschaft anschließend im Flachland in Klagenfurt einen Maximalen Sauerstoffpuls von $35,5 \text{ ml O}_2/\text{Hf} \cdot \text{min}^{-1} \text{ STPD}$ erreichen (NOWACKI 1977).

Die Gesamtsauerstoffaufnahme in 1 STPD für eine erschöpfende Leistungsphase wird durch fortlaufende Addition der O_2 -Aufnahme/min vom Beginn bis zum Abbruch am Erschöpfungspunkt berechnet. Es handelt sich um eine im internationalen Schrifttum kaum beachtete Funktionsgröße, die sich im Ratzeburger Untersuchungszentrum zunehmend bei der Einschätzung der aeroben Kapazität / Zeiteinheit für Elite-Ruderer bewährt hatte (NOWACKI 1977).

In der Leistungsphase erreichten die untrainierten Gruppe eine Gesamtsauerstoffaufnahme von $10,7 \pm 1,7 \text{ l STPD}$ und eine Mehrsauerstoffaufnahme von $8,9 \pm 1,4 \text{ l STPD}$, die befriedigend trainierte Gruppe eine Gesamtsauerstoffaufnahme von $14,7 \pm 2,1 \text{ l STPD}$ und eine Mehrsauerstoffaufnahme von $12,8 \pm 1,9 \text{ l STPD}$, die gut trainierte Gruppe eine Gesamtsauerstoffaufnahme von $18,2 \pm 2,8 \text{ l STPD}$ und eine Mehrsauerstoffaufnahme von $16,1 \pm 2,7 \text{ l STPD}$, die sehr gut trainierte Gruppe eine Gesamtsauerstoffaufnahme von $23,0 \pm 3,7 \text{ l STPD}$ und eine Mehrsauerstoffaufnahme von $20,4 \pm 4,1 \text{ l STPD}$ und die Hochleistungsgruppe eine Gesamtsauerstoffaufnahme von $33,0 \pm 4,8 \text{ l STPD}$ und eine Mehrsauerstoffaufnahme von $30,4 \pm 3,6 \text{ l STPD}$.

Nach 5 Minuten Erholung erreicht die untrainierte Gruppe eine Mehrsauerstoffaufnahme (Sauerstoffschuld in 5 Minuten) von $4,6 \pm 1,0 \text{ l STPD}$ und eine Gesamtsauerstoffschuld von $8,3 \pm 1,9 \text{ l STPD}$, die befriedigend trainierte Gruppe eine Mehrsauerstoffaufnahme von $5,4 \pm 1,0 \text{ l STPD}$ und eine Gesamtsauerstoffschuld von $9,9 \pm 2,1 \text{ l STPD}$, die gut trainierte Gruppe eine Mehrsauerstoffaufnahme von $6,0 \pm 3,3 \text{ l STPD}$ und eine Gesamtsauerstoffschuld von $10,3 \pm 2,1 \text{ l STPD}$, die sehr gut trainierte Gruppe eine Mehrsauerstoffaufnahme von $5,9 \pm 1,3 \text{ l STPD}$ und eine

Gesamtsauerstoffschuld von $10,8 \pm 2,4$ l STPD und die **Hochleistungsgruppe** eine **Mehrsauerstoffaufnahme** von $6,7 \pm 2,2$ l STPD und eine **Gesamtsauerstoffschuld** von $12,2 \pm 3,9$ l STPD.

Die **Berechnung** der **Gesamtsauerstoffschuld** aus der **5'-O₂-Schuld** (NOWACKI, FANDREY 1978) hat sich auch für die **Auswertung meiner Untersuchungen** sehr bewährt.

In der Abb. 166 sind die Verläufe der **Sauerstoffaufnahme** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Untrainierten** (24,1 J, 92,5 kg, 186,5 cm) im Vergleich zu einem **befriedigend Trainierten** (19,0 J, 71,0 kg, 172 cm), **gut Trainierten** (23,8 J, 73,5 kg, 179 cm), **sehr gut Trainierten** (24,8 J, 72,0 kg, 185 cm) und einen **Hochleistungsathleten** (19,1 J, 65,5 kg, 173,5 cm) bei der erschöpfenden **Fahrradspiroergometrie im Sitzen** nach der **1 W/kg KG-Methode** dargestellt.

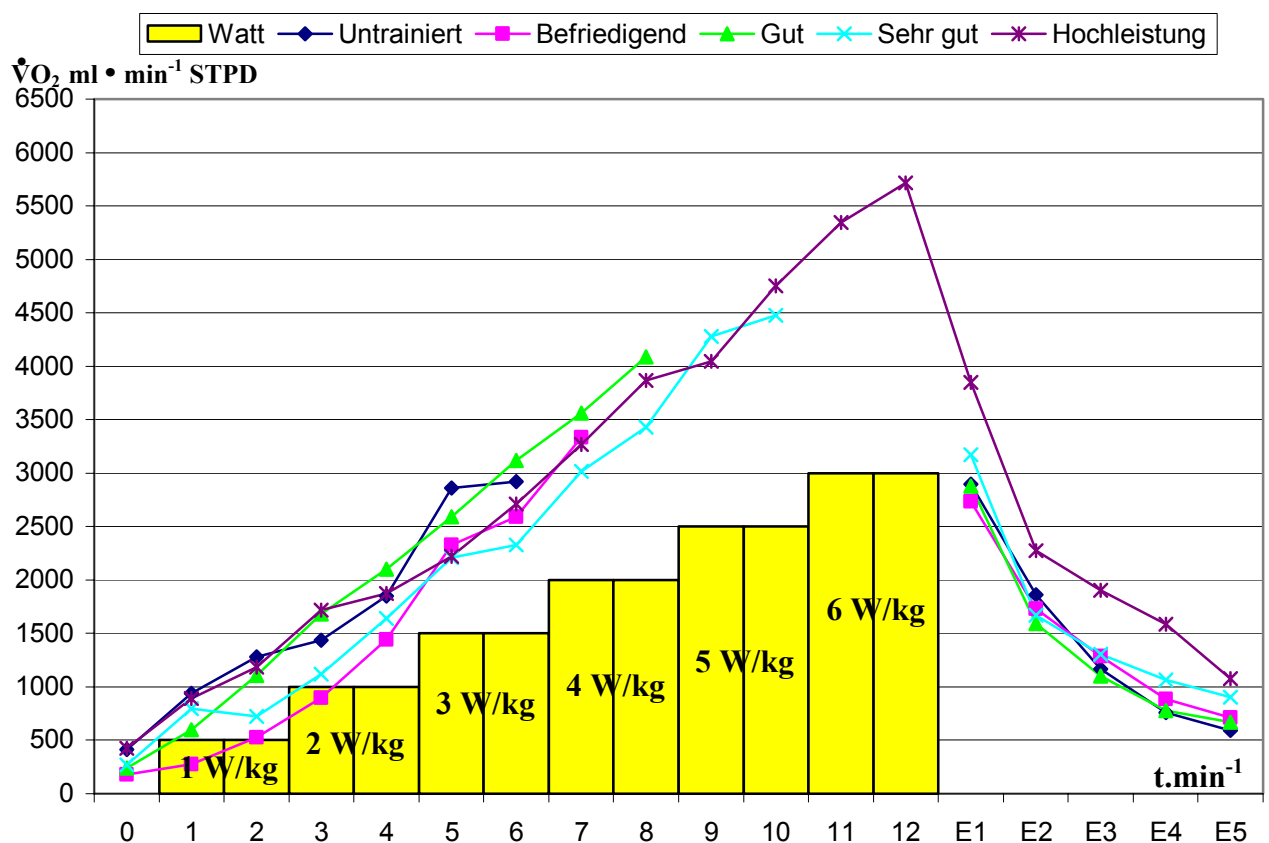


Abb. 166: Verhalten der Sauerstoffaufnahme bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von einem untrainierten Mann im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten.

In der **Leistungsphase** erreichen die **Kraft-Ausdauersportarten** die **höchste Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode**, z.B. beim **Radfahren** mit $27,3 \pm 8,8$ l STPD und $24,8 \pm 8,5$ l STPD, beim **Triathlon** mit $25,1 \pm 2,7$ l STPD und $22,6 \pm 2,7$ l STPD und bei der **Fußball WM 82** mit $23,9 \pm 3,4$ l STPD und $21,5 \pm 3,3$ l STPD. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit $11,2 \pm 1,9$ l STPD und $9,6 \pm 1,8$ l STPD und beim **Boxen** mit $14,2 \pm 1,9$ l STPD und $12,6 \pm 1,8$ l STPD gemessen worden.

Die **Gesamtsauerstoffaufnahme** während einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen **Leistungsphase** von **Elite-Ruderern** im Vergleich zu anderen Sportarten sind in der Abb. 167 dargestellt (nach **NOWACKI 1980**).

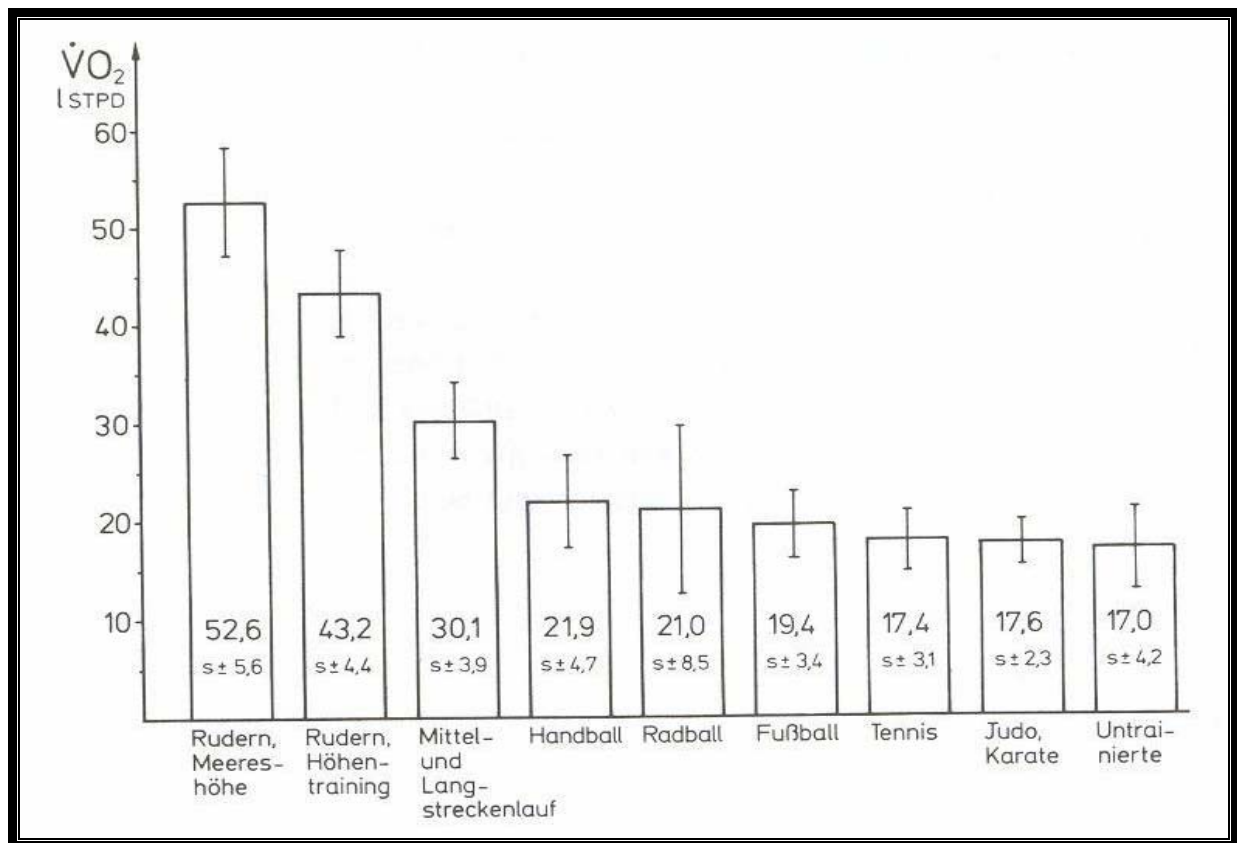


Abb. 167: Die Gesamtsauerstoffaufnahme während einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen Leistungsphase von Elite-Ruderern unter Normal- und Hypoxiebedingungen im Vergleich zu anderen Sportarten (nach **NOWACKI 1980**).

Nach **5 Minuten Erholung** erreichen die **Kraft-Ausdauersportarten** die **höchste Mehrsauerstoffaufnahme (Sauerstoffschuld in 5 Minuten)** und **Gesamtsauerstoffschuld**, z.B. beim **Handball** mit $6,7 \pm 1,4$ l STPD und $12,2 \pm 2,6$ l STPD, beim **Triathlon** mit $6,5 \pm 0,9$ l STPD und $11,9 \pm 1,7$ l STPD, bei der **Fußball WM 74** mit $11,7 \pm 2,6$ l STPD und $21,5 \pm 3,3$ l STPD und bei der **Fußball WM 82** mit $6,1 \pm 0,8$ l STPD und $11,1 \pm 1,5$ l STPD. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit $4,2 \pm 0,3$ l STPD und $7,6 \pm 0,6$ l STPD, beim **Boxen** mit $4,9 \pm 0,2$ l STPD und $8,8 \pm 0,4$ l STPD und beim **Tischtennis** mit $4,9 \pm 0,6$ l STPD und $8,9 \pm 1,0$ l STPD gemessen worden. Somit können wir die grundlegenden Untersuchungen von **HERBST 1937** über die Bedeutung der **O₂-Aufnahme (O₂-Schuld, Mehraufnahme)** nach körperlicher Arbeit in einer 10 minütigen **Erholungsphase** bestätigen.

In der Abb. 168 sind die Verläufe der **Sauerstoffaufnahmekurven** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Fußballspieler (23,3 J, 74,2 kg, 177,5 cm)** im Vergleich zu einem **Tischtennisspieler (22 J, 77 kg, 190 cm)** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** dargestellt.

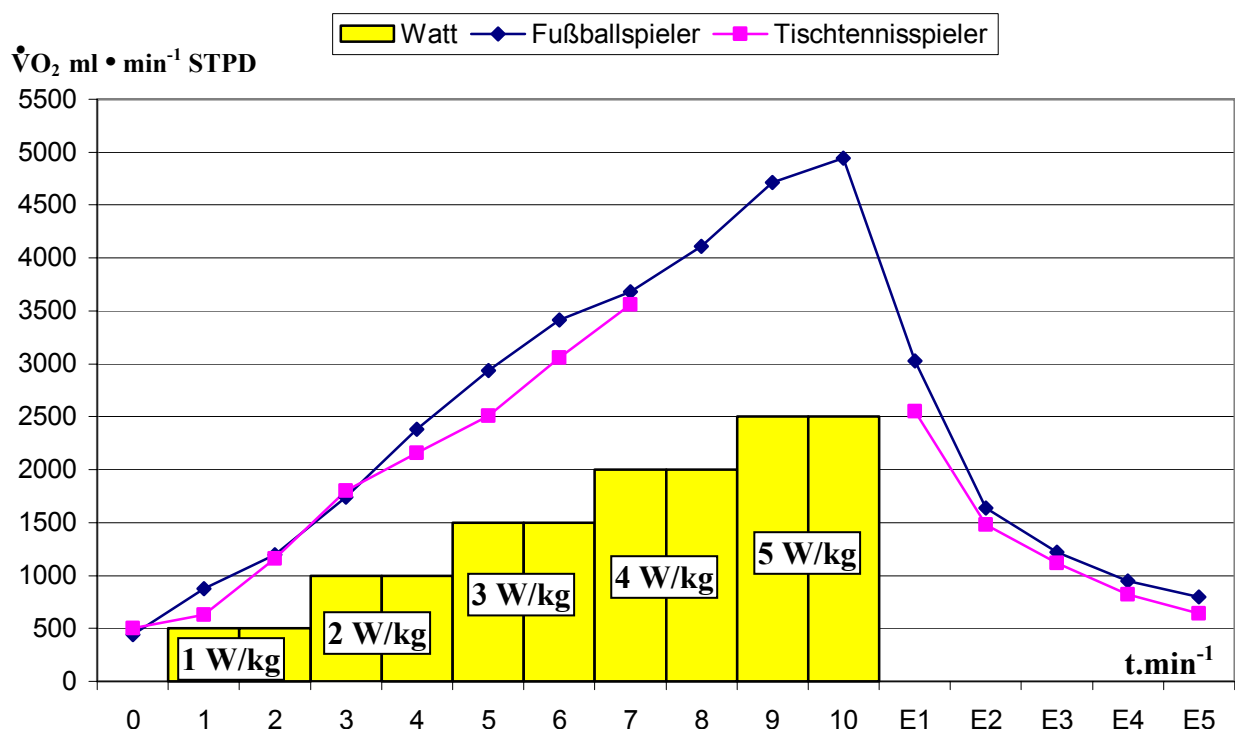


Abb. 168: Verhalten der Sauerstoffaufnahme bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von einem Fußballspieler im Vergleich zu einem Tischtennisspieler.

Die **Gesamtsauerstoffschuld** während einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen **Leistungsphase** von **Elite-Ruderern** im Vergleich zu anderen Sportarten sind in der Abb. 169 dargestellt (nach **NOWACKI 1980**).

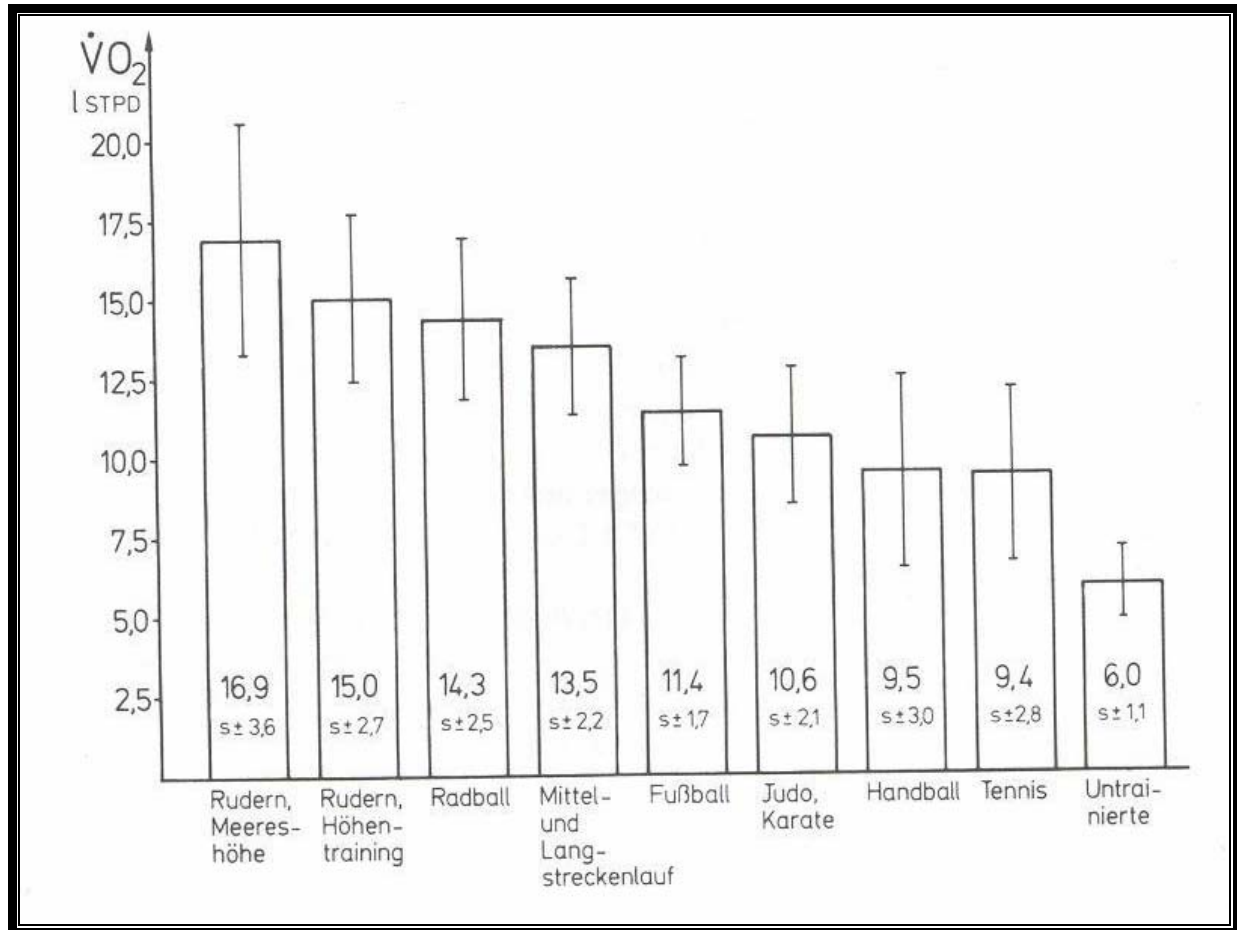


Abb. 169: Die **Gesamtsauerstoffschuld** nach einer erschöpfenden fahrradspiroergometrischen von **Elite-Ruderern** unter Normal- und Hypoxiebedingungen im Vergleich zu anderen Sportarten (nach **NOWACKI 1980**).

In der **Leistungsphase** erreichen die **sehr gut trainierten Athleten** eine **Gesamt- und Mehraufnahme** bei der **1 W/kg KG-Methode** von **24,4 ± 5,8 l STPD** und von **22,0 ± 5,4 l STPD**, beim **BAL-Verfahren** von **33,7 ± 13,9 l STPD** und von **30,5 ± 12,9 l STPD**, beim **Knipping-Verfahren** von **36,7 ± 21,1 l STPD** und von **33,7 ± 19,8 l STPD**, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** von **38,9 ± 7,2 l STPD** und von **34,6 ± 6,6 l STPD** und beim **Hollmann-Verfahren** von **50,1 ± 16,7 l STPD** und von **44,1 ± 15,3 l STPD**.

Die **Athleten 2002** verfügten über eine **Gesamt- und Mehrsauerstoffaufnahme** bei der **1 W/kg KG-Methode** von $27,0 \pm 3,7$ l STPD und von $24,3 \pm 3,6$ l STPD und beim **Hollmann-Verfahren** von $51,5 \pm 12,4$ l STPD und von $45,2 \pm 11,7$ l STPD.

In der Abb. 170 Sind die Verläufe der **Sauerstoffaufnahmekurven** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Radfahrer (24,0 J, 67 kg, 178 cm)** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** dargestellt.

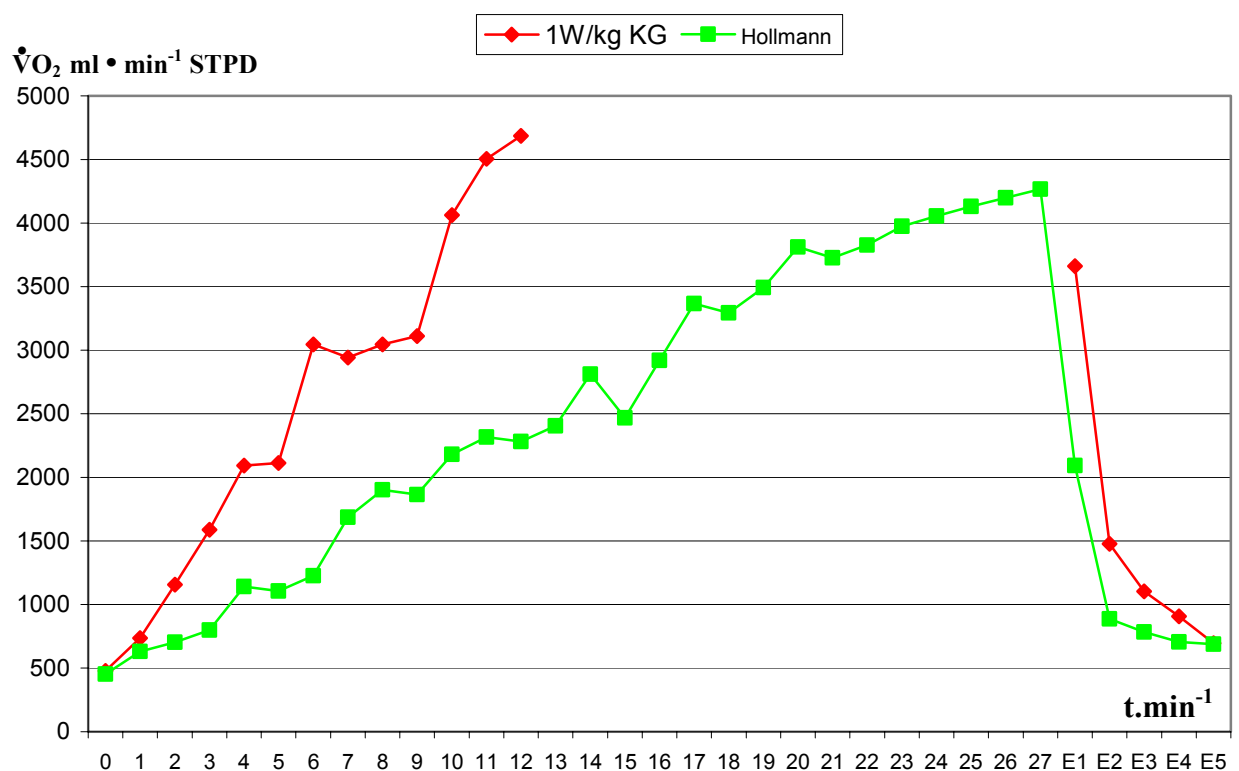


Abb. 170: Verhalten der Sauerstoffaufnahme von einem Radfahrer bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren.

Nach **5 Minuten Erholung** erreichen die **sehr gut trainierten Athleten** die **Mehrsauerstoffaufnahme (Sauerstoffschuld in 5 Minuten)** und **Gesamtsauerstoffschuld** beim **Knipping-Verfahren** von $6,1 \pm 1,3$ l STPD und von $11,1 \pm 2,4$ l STPD, beim **BAL-Verfahren** von $6,2 \pm 1,3$ l STPD und von $11,2 \pm 2,4$ l STPD, bei der **1 W/kg KG-Methode** von $6,5 \pm 1,3$ l STPD und von $11,8 \pm 2,4$ l STPD, beim **Hollmann-Verfahren** von $6,5 \pm 1,1$ l

STPD und von $11,9 \pm 2,1$ l STPD und bei der **0,5 W/kg KG- Methode** von $6,7 \pm 1,5$ l STPD und von $12,1 \pm 2,8$ l STPD.

Die **Athleten 2002** erreichen eine **Mehrsauerstoffaufnahme (Sauerstoffschuld in 5 Minuten)** und **Gesamtsauerstoffschuld** bei der **1 W/kg KG-Methode** von $5,4 \pm 1,2$ l STPD und von $9,8 \pm 2,2$ l STPD und beim **Hollmann-Verfahren** von $3,8 \pm 0,8$ l STPD und von $7,0 \pm 1,5$ l STPD.

Die von sehr gut trainierten Athleten erreichte **Sauerstoffschuld in 5 Minuten** mit einem Durchschnittswert beim **Knipping-Verfahren** von $5,5 \pm 1,6$ l STPD, bei der **1 W/kg KG-Methode** von $5,9 \pm 2,2$ l STPD, der **BAL-Verfahren** von $6,0 \pm 1,6$ l STPD, der **0,5 W/kg KG- Methode** von $6,1 \pm 1,1$ l STPD und beim **Hollmann-Verfahren** von $6,2 \pm 1,1$ l STPD (**ZHAO 1995**).

Bei **erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Gesamtsauerstoffaufnahme** von $45,8 \pm 4,1$ l STPD und eine **Mehrsauerstoffaufnahme** von $42,4 \pm 3,8$ l STPD und **nach dem Höhenttraining** eine **Gesamtsauerstoffaufnahme** von $53,4 \pm 3,9$ l STPD und eine **Mehrsauerstoffaufnahme** von $49,7 \pm 3,8$ l STPD. Dies ist ein eindrucksvoller **Beweis** für die **Effektivität** eines **Höhentrainings**, im Sinne einer Steigerung der **aeroben** und **anaeroben Kapazität**.

Nach **5 Minuten Erholung** erreichen die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Mehrsauerstoffaufnahme** von $6,9 \pm 1,7$ l STPD und eine **Gesamtsauerstoffschuld** von $12,6 \pm 3,1$ l STPD **nach dem Höhenttraining** eine **Mehrsauerstoffaufnahme** von $8,8 \pm 1,4$ l STPD und eine **Gesamtsauerstoffschuld** von $16,0 \pm 2,6$ l STPD.

Die **Ruderer** erreichen unter **Normalbedingungen** eine **Gesamtsauerstoffaufnahme** von $52,6 \pm 5,6$ l STPD und eine **Gesamtsauerstoffschuld** von $16,9 \pm 3,6$ l STPD und unter **Hypoxiebedingungen** eine **Gesamtsauerstoffaufnahme** von $43,2 \pm 3,9$ l STPD und eine **Gesamtsauerstoffschuld** von $15 \pm 2,7$ l STPD (**NOWACKI 1980**).

Die **Gesamtkohlendioxydausscheidung** in **1 STPD** in der **Leistungsphase** wird durch fortlaufende **Addition** der **CO₂-Ausscheidung** in den einzelnen Arbeitsminuten berechnet, entsprechend in der jeweiligen **Erholungsphase**. Der Einblick in die **quantitativen** Vorgänge des intermediären **Stoffwechsels** während und nach einer erschöpfenden Leistung wird durch die Betrachtung der **Gesamtkohlendioxydausscheidung** vertieft (**NOWACKI 1977**).

In der **Leistungsphase** erreicht die **untrainierte Gruppe** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von **10,5 ± 1,7 l STPD** und eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von **9,0 ± 1,5 l STPD**, die **befriedigend trainierte Gruppe** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von **14,4 ± 2,3 l STPD** und eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von **12,9 ± 2,1 l STPD**, die **gut trainierte Gruppe** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von **18,3 ± 3,4 l STPD** und eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von **16,5 ± 3,3 l STPD**, die **sehr gut trainierte Gruppe** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von **22,6 ± 3,8 l STPD** und eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von **20,5 ± 3,6 l STPD** und die **Hochleistungsgruppe** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von **31,8 ± 4,3 l STPD** und eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von **29,5 ± 3,6 l STPD**.

Nach **5 Minuten Erholung** erreicht die **untrainierte Gruppe** eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von **6,5 ± 1,2 l STPD**, die **befriedigend trainierte** **7,5 ± 1,4 l STPD**, die **gut trainierte Gruppe** **7,9 ± 1,5 l STPD**, die **sehr gut trainierte Gruppe** **8,0 ± 1,6 l STPD** und die **Hochleistungsgruppe** **8,6 ± 2,5 l STPD**.

In der Abb. 171 sind die Verläufe der **Kohlendioxydausscheidung** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Untrainierten** (**24,1 J, 92,5 kg, 186,5 cm**) im Vergleich zu einem **befriedigend Trainierten** (**19,0 J, 71,0 kg, 172 cm**), **gut Trainierten** (**23,8 J, 73,5 kg, 179 cm**), **sehr gut Trainierten** (**24,8 J, 72,0 kg, 185 cm**) und einem **Hochleistungsathleten** (**19,1 J, 65,5 kg, 173,5 cm**) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** dargestellt.

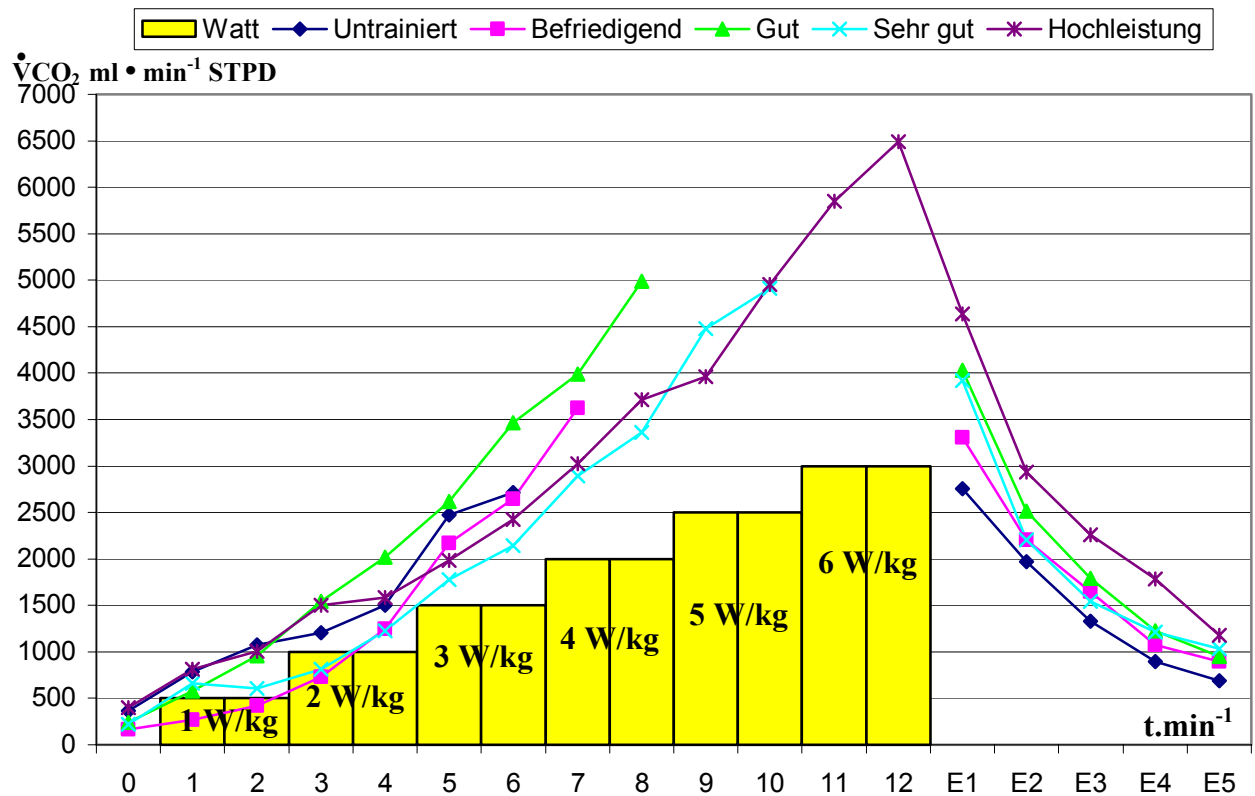


Abb. 171: Verhalten der Kohlendioxydausscheidung bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von einem untrainierten Mann im Vergleich zu verschieden hoch trainierten Athleten.

In der **Leistungsphase** erreichen die **Kraft-Ausdauersportarten** die **höchste Gesamt- und Mehrkohlendioxydausscheidung** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode, z. B. beim **Radfahren** mit $25,5 \pm 8,2$ l STPD und $23,3 \pm 8,0$ l STPD, bei der **Fußball WM 82** mit $24,5 \pm 3,2$ l STPD und $22,5 \pm 3,1$ l STPD und beim **Triathlon** mit $23,6 \pm 2,2$ l STPD und $21,6 \pm 2,2$ l STPD. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit $11,5 \pm 2,1$ l STPD und $10,1 \pm 2,0$ l STPD und beim **Tischtennis** mit $13,9 \pm 2,6$ l STPD und $12,4 \pm 2,5$ l STPD zu beobachten.

Nach **5 Minuten Erholung** erreichen die **Kraft-Ausdauersportarten** die **höchste Mehrkohlendioxydausscheidung**, z. B. beim **Handball** mit $9,8 \pm 1,1$ l STPD und bei der **Fußball WM 82** mit $8,5 \pm 1,3$ l STPD. Die **niedrigsten Werte** sind beim **Tauchen** mit $6,2 \pm 0,6$ und beim **Tischtennis** mit $6,7 \pm 0,8$ l STPD gemessen worden.

In der Abb. 172 sind die Verläufe der **Kohlendioxydausscheidungskurven** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Fußballspieler (23,3 J, 74,2 kg, 177,5 cm)** im Vergleich zum **Tischtennisspieler (22 J, 77 kg, 190 cm)** bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** dargestellt.

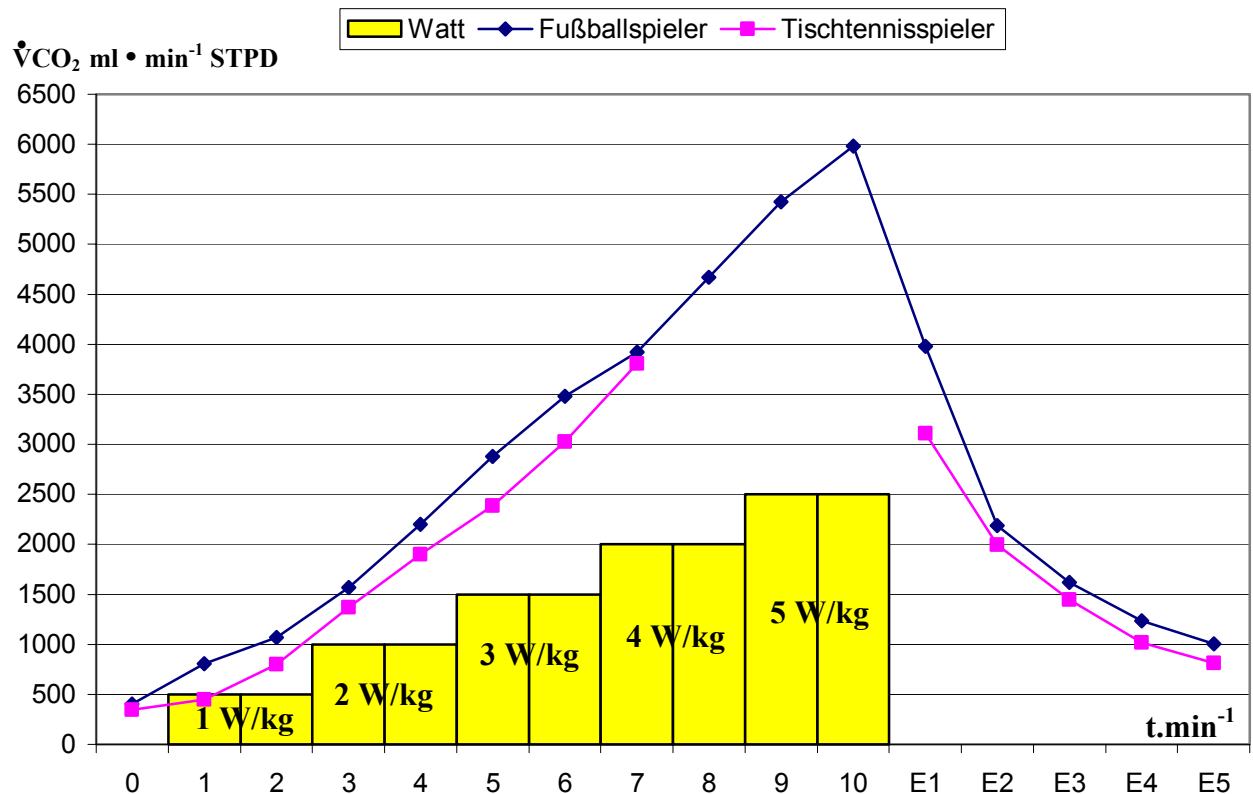


Abb. 172: Verhalten der Kohlendioxydausscheidung bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von einem Fußballspieler im Vergleich zu einem Tischtennisspieler.

In der **Leistungsphase** erreichen die **sehr gut trainierten Athleten** eine **Gesamt- und Mehrkohlendioxydausscheidung** bei der 1 W/kg KG-Methode von $25,3 \pm 6,2$ l STPD und von $23,3 \pm 6,0$ l STPD, beim **BAL-Verfahren** von $34,5 \pm 13,6$ l STPD und von $30,2 \pm 13,4$ l STPD, beim **Knipping-Verfahren** von $36,2 \pm 19,9$ l STPD und von $33,8 \pm 18,8$ l STPD, bei der **0,5 W/kg KG-Methode** von $37,3 \pm 6,1$ l STPD und von $33,6 \pm 5,6$ l STPD und beim **Hollmann-Verfahren** von $48,2 \pm 15,9$ l STPD und von $42,9 \pm 14,7$ l STPD.

Die **Athleten 2002** erzielen die **Gesamt- und Mehrkohlendioxydausscheidung** bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $28,0 \pm 3,6$ l STPD und $25,7 \pm 3,6$ l STPD, beim **Hollmann-Verfahren** mit $52,4 \pm 13,7$ l STPD und $46,7 \pm 13,3$ l STPD.

Nach **5 Minuten Erholung** erreichen die **sehr gut trainierten Athleten** die **höchste Mehrkohlendioxydausscheidung** beim **Knipping-Verfahren** mit $7,5 \pm 1,5$ l STPD, beim **BAL-Verfahren** mit $7,7 \pm 1,9$ l STPD, beim **Hollmann-Verfahren** mit $8,1 \pm 1,5$ l STPD, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** mit $8,4 \pm 1,4$ l STPD und bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $8,8 \pm 1,8$ l STPD. Damit liegt die **CO₂-Elimination** in der Nachbelastungsphase deutlich, teilweise signifikant, über der **O₂-Aufnahme**. Ursächlich ist der verstärkte Anfall saurer **Stoffwechselprodukte**, wobei die stärkeren Säuren zusätzliches Kohlendioxyd aus den Bikarbonaten des Blutes austreiben (**NOWACKI 1977**).

Die **Athleten 2002** erreichen ihre **Mehrkohlendioxydausscheidung** bei der **1 W/kg KG-Methode** mit $8,3 \pm 1,6$ l STPD und beim **Hollmann-Verfahren** mit nur $5,4 \pm 1,2$ l STPD.

In der Abb. 173 sind die Verläufe der **Kohlendioxydausscheidungskurven** in der **Vorstart-, Leistungs- und Erholungsphase** von einem **Radfahrer (24,0 J, 67 kg, 178 cm)** bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der **1 W/kg KG-Methode** und dem **Hollmann-Verfahren** dargestellt.

Bei der **erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Rudermethode** erreichten die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von $41,9 \pm 4,6$ l STPD und **Mehrkohlendioxydausscheidung** von $39,0 \pm 4,4$ l STPD, **nach dem Höhenttraining** eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von $46,7 \pm 5,2$ l STPD und eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von $43,6 \pm 5,0$ l STPD.

Nach **5 Minuten Erholung** erreichen die **Ruderer vor dem Höhenttraining** eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von $9,1 \pm 1,1$ l STPD, **nach dem Höhenttraining** eine **Mehrkohlendioxydausscheidung** von $10,3 \pm 1,9$ l STPD.

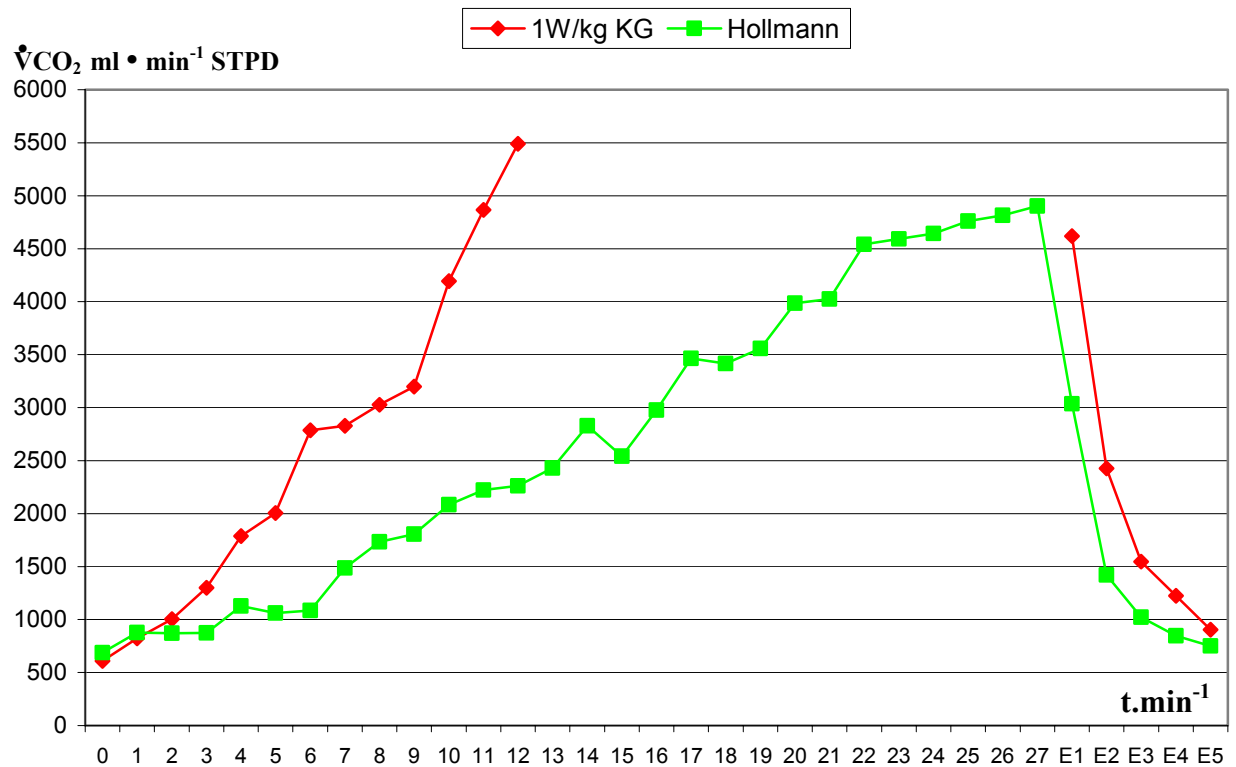


Abb. 173: Verhalten der Kohlendioxydausscheidung von einem Radfahrer bei erschöpfender Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren.

1969 fand **NOWACKI** bei **sehr leistungsfähigen Erzsatzruderern** im Höhenttraining eine **Gesamtkohlendioxydausscheidung** von **35,2 l STPD** in der **Leistungsphase**, die nach dem **Höhentraining** in **Klagenfurt** bis auf **42,3 l STPD** gesteigert werden konnte. Die entsprechenden Werte für die **zehnminütige Erholungsphase** lagen bei **19,8 l STPD** in **2045 m** Höhe am **Silvretta-Stausee** und im **Flachland** deutlich niedriger bei **17,0 l STPD**. Dies zeigt, dass sich diese Athleten hätten noch stärker **anaerob** ausbelasten können. Natürlich fehlt es dann den Ersatzleuten an der notwendigen höchsten Motivation, obwohl sie über die Bedeutung ihrer Kontrolluntersuchung nach dem **ADAMschen Hypoxietraining** für die bei der **Ruder-EM 1969** startenden Boote wußten (**ADAM** u. Mitarb. 1977).

5.5 Metabolische Leistungsfähigkeit

Die **Fähigkeit** der Sportler im **anaeroben Bereich** zu arbeiten wird durch die **Höhe** der **Azidose** ausgedrückt. Die **Beurteilung** erfolgt nach dem Verhalten der **Laktatkurven** in Abb. 174 (NOWACKI, MEDAU, BUHL 1988).

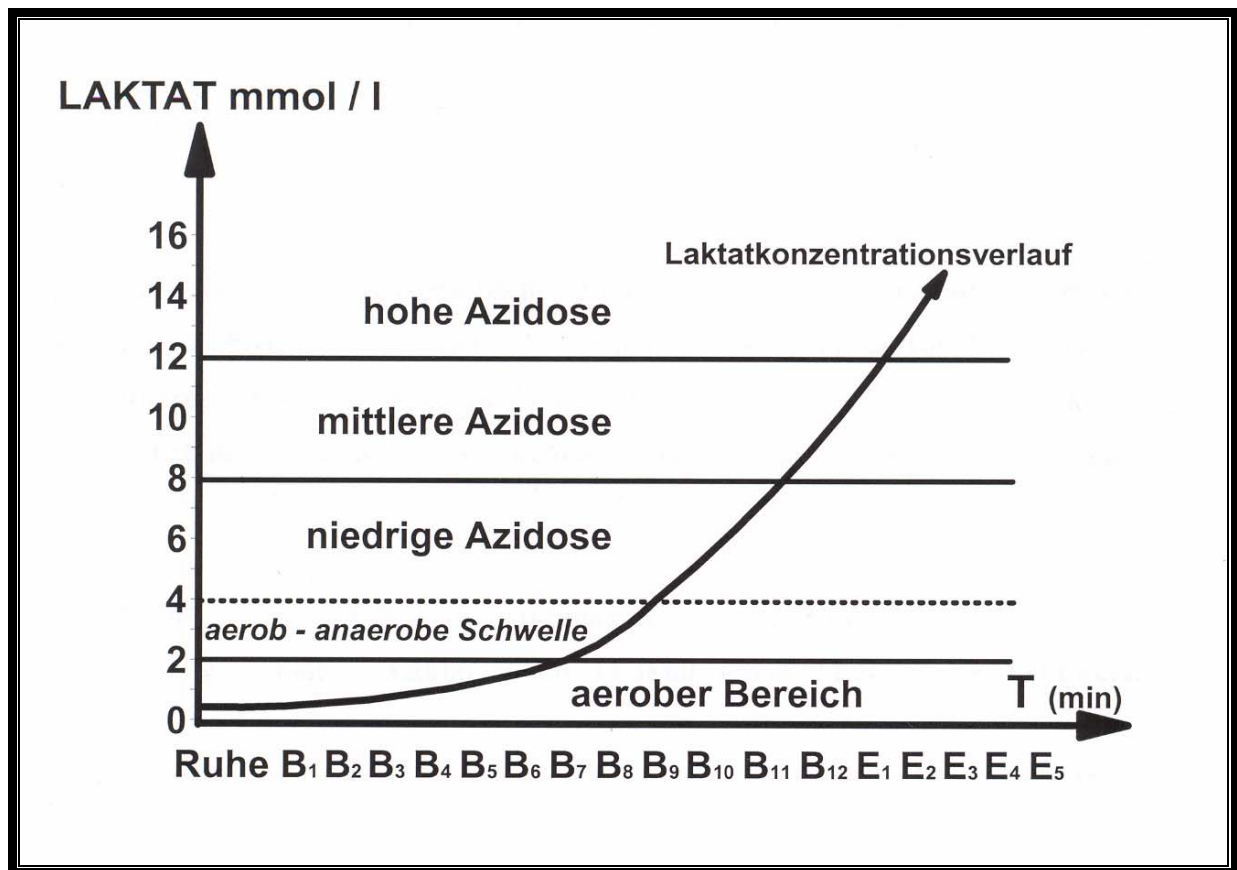


Abb. 174: Beurteilung der Azidose / Übersäuerung nach NOWACKI, MEDAU, BUHL 1988.

Die **untrainierte Gruppe** erreicht Laktatwerte vor der Belastung mit $1,4 \pm 0,2$ mmol/l, **submaximale** mit $3,6 \pm 0,3$ mmol/l, **erschöpfende** mit $6,7 \pm 3,3$ mmol/l und **maximale** mit $7,0 \pm 2,5$ mmol/l. Die **entsprechenden Werte** liegen bei der **befriedigend trainierten Gruppe** bei $1,7 \pm 0,6$ mmol/l, $3,6 \pm 1,9$ mmol/l, $12,2 \pm 3,2$ mmol/l, $13,2 \pm 2,1$ mmol/l, bei der **gut trainierten Gruppe** bei $1,1 \pm 0,3$ mmol/l, $3,0 \pm 1,2$ mmol/l, $11,5 \pm 3,4$ mmol/l, $13,0 \pm 2,1$ mmol/l, bei der **sehr gut trainierten Gruppe** bei $1,1 \pm 0,4$ mmol/l, $2,1 \pm 0,5$ mmol/l,

11,9 ± 2,9 mmol/l, 13,0 ± 3,4 mmol/l und bei der **Hochleistungsgruppe** bei **1,2 ± 0,2 mmol/l, 2,1 ± 0,4 mmol/l, 13,8 ± 2,6 mmol/l, 17,3 ± 3,8 mmol/l**.

Das **Verhältnis** der beiden anaeroben **Stoffwechselprodukte** Laktat, Pyruvat zueinander kann ebenfalls über den **Trainingszustand** Auskunft geben. Beim **Trainierten** liegt der Quotient von **Laktat** und **Pyruvat** bei relativ gleicher Belastung erheblich niedriger als bei **Untrainierten** (**HOLLOSZY** 1967).

Die **maximal** erreichbaren **Laktatkonzentrationen** liegen bei **Trainierten** höher als bei **Untrainierten**, was **HOLLMANN, LIESEN** 1973 auf größere prozentuale Glykogendepots in der Muskulatur zurückführen.

Die **sehr gut trainierten Athleten** erreichen beim **Hollmann-Verfahren** **Laktatwerte vor der Belastung** mit **1,4 ± 0,2 mmol/l**, **submaximale** mit **2,6 ± 0,9 mmol/l**, **erschöpfende** mit **15,0 ± 3,7 mmol/l** und **maximale** mit **15,8 ± 3,1 mmol/l**. Die **entsprechenden Werte** liegen beim **BAL-Verfahren** bei **1,2 ± 0,3 mmol/l, 2,6 ± 0,3 mmol/l, 16,0 ± 1,6 mmol/l, 16,7 ± 1,8 mmol/l**, beim **Knipping-Verfahren** bei **1,5 ± 0,7 mmol/l, 3,2 ± 0,5 mmol/l, 16,8 ± 2,9 mmol/l, 17,0 ± 2,7 mmol/l**, bei der **0,5 W/kg KG- Methode** bei **1,2 ± 0,2 mmol/l, 2,5 ± 0,6 mmol/l, 15,6 ± 2,4 mmol/l, 17,2 ± 2,8 mmol/l** und bei der **1 W/kg KG-Methode** bei **1,3 ± 0,4 mmol/l, 2,5 ± 0,4 mmol/l, 15,5 ± 1,3 mmol/l** und **17,8 ± 2,3 mmol/l**. Somit wird durch die **Giessener-Standardbelastungsmethode** die **höchste Laktatazidose** bei **sehr gut trainierten Athleten** erzwungen (**TINIAKOS** 2002).

Die **Athleten 2002** erreichen bei der **1 W/kg KG-Methode** **Laktatwerte vor der Belastung** mit **1,3 ± 0,6 mmol/l**, **submaximale** mit **2,5 ± 0,7 mmol/l**, **erschöpfende** mit **10,6 ± 2,3 mmol/l** und **maximale** mit **13,2 ± 1,3 mmol/l**. Die **entsprechenden Werte** liegen beim **Hollmann-Verfahren** bei **1,2 ± 0,3 mmol/l, 2,6 ± 0,6 mmol/l, 10,7 ± 2,0 mmol/l, 11,7 ± 2,9 mmol/l**. Sie bestätigen damit die grundlegende Erkenntnis, dass lang anhaltende Leistungen, z.B. nach einem Marathon-Lauf, nicht zu hohen Laktatwerten in der Erholungsphase führen (**KINDERMANN** u. Mitarb. 1977, **HECK** 1990 , **NEUMANN, SCHÜLER** 1994).

Bei Anwendung unterschiedlichster **Belastungsverfahren** werden die **maximalen Blutlaktatwerte** in einem Bereich von **7,5 mmol/l** (**LEHMANN, KEUL** 1980) bis **9,7 mmol/l** (**KINDERMANN** 1975) angegeben.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser **experimentellen Dissertation** ist es, durch Auswertung der **quantitativen und qualitativen corporalen, kardiozirkulatorischen, kardiorespiratorischen und metabolischen Reaktionen von Männern bei/nach erschöpfenden Spiroergometrien in Abhängigkeit vom Trainingszustand, der Sportart sowie unterschiedlichen Belastungsmethoden** zu vergleichen.

Die **Untersuchungen** erfolgten in einem **Zeitraum von 29 Jahren** von **April 1973** bis **Ende Dezember 2002** am **Institut für Sportwissenschaft / Professur für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen**.

Insgesamt wurden die **leistungsphysiologischen Daten** von **262 Athleten** aus **32 Sportarten** im **Alter** von **16** bis **34** Jahren kritisch analysiert und ausgewertet.

254 Untersuchungen waren erschöpfende **fahrradspiroergometrische Untersuchungsprüfungen im Sitzen** nach der Gießener **1 Watt/kg KG-Methode**.

Insgesamt **24** Untersuchungen wurden vergleichend nach der **0,5 Watt/kg KG-Methode (NOWACKI)**, dem **HOLLMANN-Verfahren**, der **BAL-Methode (Bundesausschuss für den Leistungssport)** und dem **KNIPPINGschen Belastungsverfahren** mit jeweils **6** gleichen Probanden durchgeführt.

16 Untersuchungen wurden **1970** mit der von **NOWACKI, ADAM** inaugurierten fahrradspiroergometrischen **Rudermethode** durchgeführt und von mir umfassend quantitativ ausgewertet.

Die abschließenden eigenen experimentellen Vergleichsuntersuchungen im **November 2002** erfolgten mit dem modernsten computergesteuerten spiroergometrischen Messplatz, der speziell für meine Experimente geleast wurde. Damit wurden **9 sehr gut trainierte Sportler - Gruppe Athleten 2002** – jeweils nach der **1 W/kg KG-Methode** und nach dem **Hollmann-Verfahren** bis zur individuellen Erschöpfung auf dem ebenfalls computergesteuerten Fahrradergometer im Sitzen belastet. Insgesamt also noch einmal **18** Untersuchungen.

Die **Ergebnisse** können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Trainingszustand

Tab. 72: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte \pm 1s) bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode von untrainierten Männern im Vergleich zu verschiedenen hoch trainierten Athleten

Leistungsparameter	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
Gesamtarbeit (Wattminuten)	937 \pm 152	1175 \pm 177	1463 \pm 157	1869 \pm 254	2529 \pm 209
Aerober Anteil (%)	50	41	39	50	48
Anaerober Anteil (%)	50	59	61	50	52
Max. ab. Wattstufe (Watt)	249 \pm 37	304 \pm 39	300 \pm 31	364 \pm 41	423 \pm 23
Max. re. Wattstufe (W/kg KG)	2,98 \pm 0,05	3,98 \pm 0,07	3,98 \pm 0,08	4,98 \pm 0,10	5,86 \pm 0,07
Belastungszeit (Minuten)	5,77 \pm 0,39	6,85 \pm 0,25	7,90 \pm 0,20	9,14 \pm 0,45	11,00 \pm 0,70
PWC₁₇₀ (Watt)	251 \pm 61	254 \pm 63	279 \pm 52	297 \pm 65	333 \pm 50
LPS (min⁻¹)	478 \pm 80	611 \pm 81	694 \pm 86	856 \pm 110	1040 \pm 118
EPS (min⁻¹)	344 \pm 66	357 \pm 72	349 \pm 70	384 \pm 65	393 \pm 57
Max. AMV (1 BTPS)	94 \pm 22	112 \pm 23	117 \pm 27	136 \pm 28	171 \pm 30
GE. VE. L (1 BTPS)	294 \pm 54	392 \pm 72	478 \pm 110	603 \pm 120	915 \pm 145
ME. VE. L (1 BTPS)	245 \pm 50	340 \pm 68	414 \pm 95	537 \pm 116	836 \pm 145
ME. VE. 5E (1 BTPS)	204 \pm 49	227 \pm 52	233 \pm 63	248 \pm 66	323 \pm 77
Aerober Anteil (%)	50	32	35	44	39
Anaerober Anteil (%)	50	68	65	56	61

Leistungsparameter	Untrainiert	Befriedigend	Gut	Sehr gut	Hochleistung
Max. VO₂ (ml • min⁻¹ STPD)	2962 ± 512	3525 ± 517	3866 ± 579	4341 ± 679	5101 ± 455
Max. VO₂ (ml • kg⁻¹ • min⁻¹)	36 ± 6	46 ± 5	52 ± 7	59 ± 7	71 ± 8
Max. VO₂/Hf (ml STPD)	17 ± 4	20 ± 3	22 ± 4	24 ± 4	27 ± 2
Gesamt. VO₂. L (1 STPD)	10,7 ± 1,7	14,7 ± 2,1	18,2 ± 2,8	23,0 ± 3,7	33,0 ± 4,8
Mehr. VO₂. L (1 STPD)	8,9 ± 1,4	12,8 ± 1,9	16,1 ± 2,7	20,4 ± 4,1	30,4 ± 3,6
Mehr. VO₂. 5E (1 STPD)	4,6 ± 1,0	5,4 ± 1,0	5,7 ± 1,7	5,9 ± 1,3	6,7 ± 2,2
Gesamtsauerstoffschuld (1 STPD)	8,3 ± 1,9	9,9 ± 2,1	10,3 ± 2,1	10,8 ± 2,4	12,2 ± 3,9
Gesamt. VCO₂. L (1 STPD)	10,5 ± 1,7	14,4 ± 2,3	18,3 ± 3,4	22,6 ± 3,8	31,8 ± 4,3
Mehr. VCO₂. L (1 STPD)	9,0 ± 1,5	12,9 ± 2,1	16,5 ± 3,3	20,5 ± 3,6	29,5 ± 3,6
Mehr. VCO₂. 5E (1 STPD)	6,5 ± 1,2	7,5 ± 1,4	7,9 ± 1,5	8,0 ± 1,6	8,6 ± 2,5
Laktat vor Belastung (mmol/l)	1,4 ± 0,2	1,7 ± 0,6	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,4	1,2 ± 0,2
Laktat submaximal (mmol/l)	3,6 ± 0,3	3,6 ± 1,9	3,0 ± 1,2	2,1 ± 0,5	2,1 ± 0,4
Laktat Erschöpfung (mmol/l)	6,7 ± 3,3	12,2 ± 3,2	11,5 ± 3,4	11,9 ± 2,9	13,8 ± 2,6
Laktat maximal (mmol/l)	7,0 ± 2,5	13,2 ± 2,1	13,0 ± 2,1	13,0 ± 3,4	17,3 ± 3,8

2. Sportarten

Tab. 73: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte \pm 1s) der Probanden von verschiedenen Sportarten bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der Gießener 1 W/kg KG-Methode

Leistungsparameter	Badminton	Basketball	Bodybuilding	Boxen	Eishockey	Fußball	Fußball WM 74	Fußball WM 82	Handball	Leichtathletik
Gesamtarbeit (Wattminuten)	1548 \pm 392	1302 \pm 313	1284 \pm 58	1070 \pm 176	1599 \pm 167	1533 \pm 282	1440 \pm 254	1733 \pm 06	1548 \pm 263	1717 \pm 297
Max. ab. Wattstufe (Watt)	315 \pm 43	298 \pm 37	317 \pm 49	268 \pm 23	329 \pm 37	316 \pm 38	306 \pm 41	354 \pm 38	339 \pm 54	343 \pm 47
Max. re. Wattstufe (W/kg KG)	4,15 \pm 0,73	4,10 \pm 0,48	3,85 \pm 0,69	3,92 \pm 0,10	4,20 \pm 0,44	4,31 \pm 0,56	4,08 \pm 0,43	4,48 \pm 0,52	4,10 \pm 0,34	4,58 \pm 0,50
Belastungszeit (Minuten)	8,10 \pm 1,46	7,46 \pm 1,09	6,86 \pm 1,18	6,98 \pm 0,50	8,08 \pm 0,41	8,17 \pm 0,98	7,78 \pm 0,69	8,44 \pm 0,66	7,68 \pm 0,64	8,59 \pm 0,87
PWC₁₇₀ (Watt)	278 \pm 38	252 \pm 61	273 \pm 53	241 \pm 31	303 \pm 41	253 \pm 55	303 \pm 44	331 \pm 53	316 \pm 40	294 \pm 52
LPS (min⁻¹)	727 \pm 210	683 \pm 118	623 \pm 146	585 \pm 83	710 \pm 84	792 \pm 143	619 \pm 97	720 \pm 132	651 \pm 94	750 \pm 126
EPS (min⁻¹)	374 \pm 60	377 \pm 37	377 \pm 73	292 \pm 59	334 \pm 61	407 \pm 66	304 \pm 70	327 \pm 57	347 \pm 54	354 \pm 58
Max. AMV (1 BTPS)	104 \pm 25	120 \pm 22	106 \pm 20	112 \pm 20	116 \pm 20	118 \pm 21	100 \pm 25	157 \pm 26	145 \pm 21	135 \pm 25
GE. VE. L (1 BTPS)	438 \pm 122	451 \pm 104	399 \pm 78	392 \pm 35	474 \pm 58	484 \pm 116	419 \pm 117	674 \pm 104	558 \pm 96	543 \pm 118
ME. VE. L (1 BTPS)	375 \pm 116	397 \pm 99	342 \pm 76	344 \pm 35	410 \pm 58	424 \pm 112	361 \pm 112	608 \pm 101	496 \pm 92	479 \pm 114
ME. VE. 5E (1 BTPS)	212 \pm 51	242 \pm 64	245 \pm 25	223 \pm 22	233 \pm 37	232 \pm 52	205 \pm 66	265 \pm 69	298 \pm 70	247 \pm 66

Leistungsparameter	Badminton	Basketball	Bodybuilding	Boxen	Eishockey	Fußball	Fußball WM 74	Fußball WM 82	Handball	Leichtathletik
Max. VO_2 ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ STPD)	3716 \pm 666	3690 \pm 547	3452 \pm 675	3302 \pm 353	3813 \pm 733	3822 \pm 486	3975 \pm 617	4747 \pm 428	4434 \pm 613	4123 \pm 562
Max. VO_2 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	49 \pm 9	51 \pm 8	42 \pm 10	48 \pm 4	49 \pm 11	52 \pm 9	53 \pm 7	60 \pm 6	54 \pm 9	55 \pm 8
Max. VO_2/Hf (ml STPD)	20 \pm 4	20 \pm 3	19 \pm 4	18 \pm 2	21 \pm 4	20 \pm 3	23 \pm 4	27 \pm 3	25 \pm 3	23 \pm 3
Gesamt. VO_2 . L (1 STPD)	17,4 \pm 4,5	16,2 \pm 2,9	15,0 \pm 4,2	14,2 \pm 1,9	19,2 \pm 2,6	18,1 \pm 4,1	18,5 \pm 3,9	23,9 \pm 3,4	20,4 \pm 2,7	19,9 \pm 3,6
Mehr. VO_2 . L (1 STPD)	15,2 \pm 4,3	14,3 \pm 2,6	13,0 \pm 4,0	12,6 \pm 1,8	17,0 \pm 2,7	16,0 \pm 3,9	16,5 \pm 3,8	21,5 \pm 3,3	16,4 \pm 4,7	17,6 \pm 3,4
Mehr. VO_2 . 5E (1 STPD)	5,7 \pm 1,0	5,5 \pm 1,0	5,5 \pm 1,4	4,9 \pm 0,2	5,9 \pm 1,0	5,6 \pm 0,8	6,5 \pm 1,4	6,1 \pm 0,8	6,7 \pm 1,4	5,5 \pm 1,3
Gesamtsauerstoffschuld (1 STPD)	10,3 \pm 1,7	10,0 \pm 1,8	9,9 \pm 2,6	8,8 \pm 0,4	10,7 \pm 1,8	10,3 \pm 1,5	11,7 \pm 2,6	11,1 \pm 1,5	12,2 \pm 2,6	9,8 \pm 1,8
Gesamt. VCO_2 . L (1 STPD)	16,7 \pm 4,8	16,6 \pm 3,7	14,1 \pm 3,0	14,0 \pm 1,7	19,4 \pm 3,9	17,9 \pm 4,5	18,4 \pm 4,7	24,5 \pm 3,2	20,8 \pm 3,1	19,7 \pm 3,6
Mehr. VCO_2 . L (1 STPD)	14,8 \pm 4,6	14,9 \pm 3,5	12,4 \pm 2,9	12,6 \pm 1,6	17,5 \pm 3,9	16,1 \pm 4,3	16,7 \pm 4,5	22,5 \pm 3,1	18,9 \pm 3,0	17,8 \pm 3,5
Mehr. VCO_2 . 5E (1 STPD)	7,3 \pm 1,4	7,8 \pm 1,5	7,6 \pm 1,3	6,9 \pm 0,4	8,4 \pm 0,8	7,5 \pm 1,1	8,3 \pm 2,0	8,5 \pm 1,3	9,8 \pm 1,1	7,6 \pm 1,3

Leistungsparameter	Radfahren	Rudern	Schwimmen	Skilanglauf	Tauchen	Tennis	Tischtennis	Triathlon	Turnen	Volleyball
Gesamtarbeit (Wattminuten)	2220 ± 531	1919 ± 361	1560 ± 875	1649 ± 383	997 ± 125	1306 ± 376	1115 ± 225	1944 ± 184	1658 ± 411	1158 ± 253
Max. ab. Wattstufe (Watt)	367 ± 50	380 ± 44	333 ± 111	333 ± 40	266 ± 41	297 ± 51	265 ± 45	375 ± 27	342 ± 59	293 ± 42
Max. re. Wattstufe (W/kg KG)	5,29 ± 0,64	4,99 ± 0,66	3,97 ± 1,01	4,82 ± 0,60	3,49 ± 0,53	3,98 ± 0,48	3,70 ± 0,46	4,98 ± 0,10	4,75 ± 0,67	3,61 ± 0,52
Belastungszeit (Minuten)	10,33 ± 1,56	9,03 ± 1,06	7,40 ± 2,07	8,75 ± 1,12	6,28 ± 0,58	7,33 ± 0,89	6,96 ± 0,86	9,21 ± 0,64	8,53 ± 1,12	6,55 ± 0,96
PWC₁₇₀ (Watt)	280 ± 64	323 ± 52	314 ± 152	272 ± 65	235 ± 67	240 ± 58	238 ± 38	344 ± 66	261 ± 50	236 ± 57
LPS (min⁻¹)	1023 ± 158	818 ± 179	623 ± 169	843 ± 167	543 ± 103	725 ± 137	624 ± 139	815 ± 113	769 ± 162	662 ± 180
EPS (min⁻¹)	390 ± 54	370 ± 78	366 ± 82	361 ± 84	355 ± 60	410 ± 38	359 ± 53	319 ± 106	400 ± 74	402 ± 83
Max. AMV (1 BTPS)	145 ± 39	146 ± 24	128 ± 54	122 ± 24	105 ± 16	128 ± 35	103 ± 23	135 ± 23	125 ± 32	115 ± 28
GE. VE. L (1 BTPS)	740 ± 249	643 ± 175	500 ± 296	532 ± 91	327 ± 57	474 ± 173	388 ± 94	643 ± 74	530 ± 212	452 ± 201
ME. VE. L (1 BTPS)	668 ± 241	574 ± 170	438 ± 273	471 ± 89	279 ± 56	420 ± 164	338 ± 89	575 ± 72	472 ± 205	353 ± 104
ME. VE. 5E (1 BTPS)	245 ± 101	292 ± 71	230 ± 94	203 ± 42	204 ± 27	228 ± 39	215 ± 43	271 ± 49	241 ± 73	265 ± 46

Leistungsparameter	Radfahren	Rudern	Schwimmen	Skilanglauf	Tauchen	Tennis	Tischtennis	Triathlon	Turnen	Volleyball
Max. VO₂ (ml • min⁻¹ STPD)	4380 ± 925	4477 ± 575	4008 ± 651	3843 ± 616	2904 ± 294	3968 ± 805	3179 ± 391	4280 ± 356	4084 ± 766	3506 ± 444
Max. VO₂ (ml • kg⁻¹ • min⁻¹)	63 ± 14	59 ± 9	47 ± 15	56 ± 12	38 ± 5	53 ± 8	44 ± 7	57 ± 3	55 ± 8	45 ± 7
Max. VO₂/Hf (ml STPD)	23 ± 5	25 ± 3	22 ± 10	21 ± 3	16 ± 2	21 ± 4	17 ± 2	24 ± 3	21 ± 3	19 ± 3
Gesamt. VO₂. L (1 STPD)	27,3 ± 8,8	23,8 ± 5,0	17,6 ± 10,0	20,5 ± 4,5	11,2 ± 1,9	17,9 ± 6,1	14,5 ± 2,7	25,1 ± 2,7	20,3 ± 6,2	14,5 ± 3,4
Mehr. VO₂. L (1 STPD)	24,8 ± 8,5	21,4 ± 4,9	15,6 ± 9,6	18,4 ± 4,4	9,6 ± 1 ,8	15,9 ± 5,7	12,7 ± 2,5	22,6 ± 2,7	18,1 ± 5,9	12,6 ± 3,2
Mehr. VO₂. 5E (1 STPD)	5,6 ± 2,2	5,7 ± 1,4	5,0 ± 2,1	5,0 ± 1,0	4,2 ± 0,3	5,7 ± 1,0	4,9 ± 0,6	6,5 ± 0,9	5,8 ± 1,1	5,5 ± 1,3
Gesamtsauerstoffschuld (1 STPD)	10,2 ± 4,1	10,4 ± 2,5	9,1 ± 3,9	9,1 ± 1,9	7,6 ± 0,6	10,5 ± 1,9	8,9 ± 1,0	11,9 ± 1,7	10,6 ± 2,0	10,0 ± 2,4
Gesamt. VCO₂. L (1 STPD)	25,5 ± 8,2	22,0 ± 5,9	19,2 ± 10,1	20,5 ± 3,4	11,5 ± 2,1	17,5 ± 5,9	13,9 ± 2,6	23,6 ± 2,2	19,7 ± 6,6	14,6 ± 3,6
Mehr. VCO₂. L (1 STPD)	23,3 ± 8,0	19,9 ± 5,7	16,9 ± 9,1	18,6 ± 3,2	10,1 ± 2,0	15,8 ± 5,6	12,4 ± 2,5	21,6 ± 2,2	17,8 ± 6,4	13,0 ± 3,5
Mehr. VCO₂. 5E (1 STPD)	7,3 ± 2,4	7,8 ± 1,7	7,4 ± 2,2	6,9 ± 1,5	6,2 ± 0,6	7,4 ± 1,3	6,7 ± 0,8	8,5 ± 0,9	7,8 ± 1,2	7,8 ± 1,1

3. Belastungsmethoden

Tab. 74: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte \pm 1s) von sehr gut trainierten Männern bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen in Abhängigkeit von 5 unterschiedlichen Belastungsmethoden

Leistungsparameter	1 W/kg KG	0,5 W/kg KG	BAL	Hollmann	Knipping
Gesamtarbeit (Wattminuten)	1894 \pm 431	2881 \pm 622	2804 \pm 1026	3727 \pm 1076	2782 \pm 1068
Aerober Anteil (%)	42	34	30	43	18
Anaerober Anteil (%)	58	66	70	57	82
Max. ab. Wattstufe (Watt)	375 \pm 63	318 \pm 49	317 \pm 61	310 \pm 44	298 \pm 44
Max. re. Wattstufe (W/kg KG)	4,93 \pm 0,55	4,21 \pm 0,45	4,18 \pm 0,65	4,09 \pm 0,43	3,98 \pm 0,48
Belastungszeit (Minuten)	9,03 \pm 1,08	16,50 \pm 1,87	12,00 \pm 2,98	22,67 \pm 3,44	10,83 \pm 4,45
PWC ₁₇₀ (Watt)	294 \pm 68	262 \pm 43	265 \pm 32	250 \pm 40	249 \pm 27
LPS (min ⁻¹)	885 \pm 196	1403 \pm 288	1243 \pm 364	1931 \pm 459	1231 \pm 546
EPS (min ⁻¹)	387 \pm 73	384 \pm 53	389 \pm 49	405 \pm 53	368 \pm 72
Max. AMV (1 BTPS)	154 \pm 34	146 \pm 25	141 \pm 27	143 \pm 34	137 \pm 32
GE. VE. L (1 BTPS)	695 \pm 143	1020 \pm 146	913 \pm 340	1331 \pm 440	989 \pm 516
ME. VE. L (1 BTPS)	626 \pm 68	895 \pm 128	821 \pm 312	1157 \pm 399	905 \pm 477
ME. VE. 5E (1 BTPS)	291 \pm 73	283 \pm 67	270 \pm 71	267 \pm 66	247 \pm 53
Aerober Anteil (%)	35	30	23	41	12
Anaerober Anteil (%)	65	70	77	59	82

Leistungsparameter	1 W/kg KG	0,5 W/kg KG	BAL	Hollmann	Knipping
Max. VO₂ (ml • min⁻¹ STPD)	4566 ± 723	4401 ± 620	4320 ± 772	4388 ± 800	4282 ± 876
Max. VO₂ (ml • kg⁻¹ • min⁻¹)	61 ± 8	58 ± 7	57 ± 9	58 ± 8	57 ± 10
Max. VO₂/Hf (ml STPD)	25 ± 4	23 ± 4	23 ± 4	23 ± 5	23 ± 5
Gesamt. VO₂. L (1 STPD)	24,4 ± 5,8	38,9 ± 7,2	33,7 ± 13,9	50,1 ± 16,7	36,7 ± 21,1
Mehr. VO₂. L (1 STPD)	22,0 ± 5,4	34,6 ± 6,6	30,5 ± 12,9	44,1 ± 15,3	33,7 ± 19,8
Mehr. VO₂. 5E (1 STPD)	6,5 ± 1,3	6,7 ± 1,5	6,2 ± 1,3	6,5 ± 1,1	6,1 ± 1,3
Gesamtsauerstoffschuld (1 STPD)	11,8 ± 2,4	12,1 ± 2,8	11,2 ± 2,4	11,9 ± 2,1	11,1 ± 2,4
Gesamt. VCO₂. L (1 STPD)	25,3 ± 6,2	37,3 ± 6,1	34,5 ± 13,6	48,2 ± 15,9	36,2 ± 19,9
Mehr. VCO₂. L (1 STPD)	23,3 ± 6,0	33,6 ± 5,6	30,2 ± 13,4	42,9 ± 14,7	33,8 ± 18,8
Mehr. VCO₂. 5E (1 STPD)	8,8 ± 1,8	8,4 ± 1,4	7,7 ± 1,9	8,1 ± 1,5	7,5 ± 1,5
Laktat vor Belastung (mmol/l)	1,3 ± 0,4	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,3	1,4 ± 0,2	1,5 ± 0,7
Laktat submaximal (mmol/l)	2,5 ± 0,4	2,5 ± 0,6	2,6 ± 0,3	2,6 ± 0,9	3,2 ± 0,5
Laktat Erschöpfung (mmol/l)	15,5 ± 1,3	15,6 ± 2,4	16,0 ± 1,6	15,0 ± 3,7	16,8 ± 2,9
Laktat maximal (mmol/l)	17,8 ± 2,3	17,2 ± 2,8	16,7 ± 1,8	15,8 ± 3,1	17,0 ± 2,7

4. Höhenttraining

Tab. 75: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte \pm 1s) der Elite-Ruderer des Deutschland-Achters 1970 bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie mit der Rudermethode im Flachland (Ratzeburg 0 m Meereshöhe) vor und nach einem Höhenttraining (Silvretta-Stausee 2045 m).

Leistungsparameter	Vor	Nach	Leistungsparameter	Vor	Nach
Gesamtarbeit (Wattminuten)	3700 \pm 437	4125 \pm 354	Max. VO ₂ (ml • min ⁻¹ STPD)	5680 \pm 527	6459 \pm 531
Max. ab. Wattstufe (Watt)	481 \pm 6	494 \pm 18	Max. VO ₂ (ml • kg ⁻¹ • min ⁻¹)	61 \pm 6	69 \pm 5
Max. re. Wattstufe (W/kg KG)	5,14 \pm 0,30	5,28 \pm 0,23	Max. VO ₂ /Hf (ml STPD)	31 \pm 3	35 \pm 3
Belastungszeit (Minuten)	10,38 \pm 0,92	11,25 \pm 0,71	Gesamt. VO ₂ . L (l STPD)	45,8 \pm 4,1	53,4 \pm 3,9
PWC ₁₇₀ (Watt)	407 \pm 39	414 \pm 40	Mehr. VO ₂ . L (l STPD)	42,4 \pm 3,8	49,7 \pm 3,8
LPS (min ⁻¹)	1069 \pm 2	1175 \pm 92	Mehr. VO ₂ . 5E (l STPD)	6,9 \pm 1,7	8,8 \pm 1,4
EPS (min ⁻¹)	355 \pm 45	369 \pm 64	Gesamtsauerstoffschuld (l STPD)	12,6 \pm 3,1	16,0 \pm 2,6
Max. AMV (l BTPS)	153 \pm 14	176 \pm 13	Gesamt. VCO ₂ . L (l STPD)	41,9 \pm 4,6	46,7 \pm 5,2
GE. VE. L (l BTPS)	956 \pm 110	1162 \pm 111	Mehr. VCO ₂ . L (l STPD)	39,0 \pm ,4	43,6 \pm 5,0
ME. VE. L (l BTPS)	859 \pm 108	1057 \pm 110	Mehr. VCO ₂ . 5E (l STPD)	9,1 \pm 1,1	10,3 \pm 1,9
ME. VE. 5E (l BTPS)	276 \pm 6	346 \pm 60			

5. Gruppe Athleten 2002

Tab. 76: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte \pm 1s) von sehr gut trainierten Sportlern - Gruppe Athleten 2002 - bei der erschöpfenden Fahrradspiroergometrie im Sitzen nach der 1 W/kg KG-Methode und dem Hollmann-Verfahren

Leistungsparameter	1 W/kg KG	Hollmann	Leistungsparameter	1 W/kg KG	Hollmann
Gesamtarbeit (Wattminuten)	2344 \pm 330	4361 \pm 590	Max. VO ₂ (ml • min ⁻¹ STPD)	4548 \pm 527	3808 \pm 599
Aerober Anteil (%)	50	50	Max. VO ₂ (ml • kg ⁻¹ • min ⁻¹)	60 \pm 9	51 \pm 11
Anaerober Anteil (%)	50	50	Max. VO ₂ /Hf (ml STPD)	25 \pm 4	21 \pm 3
Max. ab. Wattstufe (Watt)	399 \pm 55	323 \pm 20	Gesamt. VO ₂ . L (l STPD)	27,0 \pm 3,7	51,5 \pm 12,4
Max. re. Wattstufe (W/kg KG)	5,33 \pm 0,50	4,32 \pm 0,68	Mehr. VO ₂ . L (l STPD)	24,3 \pm 3,6	45,2 \pm 11,7
Belastungszeit (Minuten)	10,22 \pm 0,83	24,78 \pm 1,72	Mehr. VO ₂ . 5E (l STPD)	5,4 \pm 1,2	3,8 \pm 0,8
PWC ₁₇₀ (Watt)	333 \pm 68	275 \pm 49	Gesamtsauerstoffschuld (l STPD)	9,8 \pm 2,2	7,0 \pm 1,5
LPS (min ⁻¹)	937 \pm 179	1920 \pm 394	Gesamt. VCO ₂ . L (l STPD)	28,0 \pm 3,6	52,4 \pm 13,7
EPS (min ⁻¹)	365 \pm 94	327 \pm 65	Mehr. VCO ₂ . L (l STPD)	25,7 \pm 3,6	46,7 \pm 13,3
Max. AMV (l BTPS)	138 \pm 16	131 \pm 19	Mehr. VCO ₂ . 5E (l STPD)	8,3 \pm 1,6	5,4 \pm 1,2
GE. VE. L (l BTPS)	679 \pm 124	1478 \pm 251	Laktat vor Belastung (mmol/l)	1,3 \pm 0,6	1,2 \pm 0,3
ME. VE. L (l BTPS)	601 \pm 125	1288 \pm 249	Laktat submaximal (mmol/l)	2,5 \pm 0,7	2,6 \pm 0,6
ME. VE. 5E (l BTPS)	223 \pm 26	193 \pm 52	Laktat Erschöpfung (mmol/l)	10,6 \pm 2,3	10,7 \pm 2,0
Aerober Anteil (%)	46	54	Laktat maximal (mmol/l)	13,2 \pm 1,3	11,7 \pm 2,9
Anaerober Anteil (%)	54	51			

7. LITERATURVERZEICHNIS

ADAM K.:

Erfahrungen und Hypothesen zum Training von Ruderern in mittlerer Höhe (2000 m)
als Vorbereitung eines Starts unter Normalbedingungen.

Rudersport 1970, 48

ADAM K., D. BARON, W. ESSING, J. KEUL, H. LIESEN, D. MARTIN, H. MELLEROWICZ, P.E. NOWACKI, P. SCHMIDT:

Empfehlungen zum Höhentraining.

Informationsheft zu Training 10, 1972, 9-13

ADAM K., H. LIESEN, P.E. NOWACKI, M. RULFFS, W. SCHRÖDER:

Rudertraining.

Limpert Verlag, Bad Homburg 1977

AHONEN J., T. LAHTINEN, M. SANDSTRÖM, G. POGLIANI, R. WIRHED:

Sportmedizin und Trainingslehre.

Schattauer Verlag, Stuttgart 1999, 86

AIGNER A.:

Sportmedizin in der Praxis.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo 1986

ALLERÖDER H., C.H. LANDEN:

Das Verhalten der Komplementärluft, der Reserveluft und der Sauerstoffaufnahme im
Arbeitsversuch.

Zschr. exper. Med. 108, 1940, 406

ANTHONY A.J.:

Funktionsprüfung der Atmung.

Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1937

APPEL B., N. WU, Y. ELGOHARI, P.E. NOWACKI:

Körperliche und kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit adipöser, normalgewichtiger untrainierter und trainierter SchülerInnen des 12. Lebensjahres.

37. Deutscher Kongress für Sportmedizin und Prävention, Rotenburg 26-30 September 2001

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 52 (Abstractband), 2001, B-P-265,80

ASMUSSEN E.:

Muscular exercise.

In: Fenn W.O., H. Rahn (Eds.):

Handbook of physiology – respiration II.

Am Physiol Soc Chapter 36, 1965, 939-978, Washington, D.C.

ÅSTRAND P.O.:

Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age.

Munksgaard, Kopenhagen 1952

ÅSTRAND P.O.:

Sport, Alter und Geschlecht.

Sportmed. Schriftenreihe, Wander, Heft 5, Bern 1958

ÅSTRAND P.O., B. SALTIN:

Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity.

J. Appl. Physiol. 16, 1961, 977-981

ÅSTRAND P.O.:

Die körperliche Leistungsfähigkeit in der Höhe.

In: Hollmann W. (Hrsg.):

Zentrale Themen der Sportmedizin.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1972, 115-130

ÅSTRAND P.O., K. RODAHL:

Textbook of Work Physiology
McGraw-Hill, New York 1. Auflage 1970
McGraw-Hill, New York 2. Auflage 1977

ATWATER W.O., F.G. BENEDICT:

Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body.
U. S. Department of Agriculture, Office of Experiment Stations-Bulletin 69
Government Printing Office, Washington 1899

BACHL N., L. PROKOP:

Wie gut trainiert sind österreichische Fußballspieler?
Leistungsdiagnostische Standortbestimmung aus der Sicht des Sportphysiologen.
Österr. J. Sportmed. 7, 1977, 3-10

BACHL N.:

Leistungsdiagnostik im Kindes- und Jugendalter.
In: Prokop L. (Hrsg.):
Kinder – Sportmedizin
Fischer Verlag, Stuttgart 1986, 95-126

BADTKE G.:

Sportmedizinische Grundlagen.
Deutsch, Thun-Frankfurt/M. 2. Auflage 1989

BAR-OR O.:

The Child and Adolescent Athlete.
Encyclopaedia of Sports Medicine VI
Blackwell Science Ltd., Oxford 1996

**BARON D., U. BIERBAUM, D. BÖHMER, K. CARL, J. FORCHMANN,
S. LACHENICHT, D. MARTIN, P.E. NOWACKI:**

Das neue System der sportmedizinischen Untersuchungen für den Spitzensport.

In: DSB, Bundesausschuss zur Förderung des Leistungssport (Hrsg.):

Hassmüller Verlag, Frankfurt / M. 1971, 1-32

BEHNEN K.:

Aktuelle kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit regionaler A-Jugend-Fußballspieler
im Vergleich zu früheren Europa- und Weltmeistern des Deutschen Fußball-Bundes.

Wiss. Examensarbeit (Sportmedizin / Sportwissenschaft), Justus-Liebig-Universität
Gießen 1998, 1-85

BENEDICT F.G., W.G. CADY:

A bicycle ergometer with an electric brake.

Carnegie Institut of Washington.

Publ. 167, Isaac H Blanchard Company, New York 1912

BOLT W., H. KNIPPING, H. VALENTIN, H. VENRATH:

Sport as a therapeutical factor in heart conditions.

Sports Medicine, Olympiade Helsinki 1952

BOLT W., H. KNIPPING, H. VALENTIN, H. VENRATH:

Respiratorische Ruhe- und Arbeitsinsuffizienz.

Die Gruppierung der verschiedenen Formen und die Abgrenzung von der kardialen
Insuffizienz unter besonderer Berücksichtigung der Lungentuberkulose.

Beitr. Klin. Tbk 108, 1953, 394

BÖNING D., D. CLASING, H. WEICKER:

Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik.

Gustav Fischer, Stuttgart 1994

BÖS K., F. HÄNSEL, N. SCHOTT :

Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft.
Czwalina Verlag, Hamburg 2000, 155-189.

BORGARD W., G. MATTHIESSEN, G. ZAEPER:

Einwirkungen des Trainings auf Atmung und Kreislauf.
Klin. Wschr. 15, 1937, 385

BOUNY E.:

Études expérimentales.
Revue mensuelle du Touring-Club de France, Avril 140, 1897

BRAUER B., W. WOLF:

Einführung in die Spirographie und Ergometrie.
Beitrag zur Klin. d. Tuberkulose 94, 1940, 504-519

BRIEDIGKEIT W., F. TITTMANN:

Erfahrungen mit der Fahrradergometrie bei Kindern unter besonderer
Berücksichtigung des Belastungsblutdrucks.
Kinderärztliche Praxis 10, 1982, 518-528

BRINGMANN W.:

Die Einschätzung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit für die Beurteilung der
Sportfähigkeit und Trainingseffektivität.
Med. u. Sport 20, 1980, 104-113

BROCKMANN H.R.:

Sportmedizinisches Leistungsprofil von Tischtennispielern.
Inaug. Diss. (Dr. med. dent.) Justus-Liebig-Universität Gießen 1984, 1-155

BURGER H.-J., P.E. NOWACKI:

Physiologische und biochemische Reaktionen bei sportartspezifischen Belastungen von Tanzpaaren der hessischen Hauptklasse D-S.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sportmedizin-Kursbestimmung.

Kongressband 30. Deutscher Sportärztekongress, Kiel 1986.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo 1987, 573-578

BURGER H.-J., P.E. NOWACKI, C. BUHL, P. SCHNORR:

Kardiorespiratorische und metabolische Belastbarkeit von Tanzsportlern unterschiedlicher Startklassen bei allgemeiner und sportartspezifischer Spiroergometrie.

In: Bönig D., K. M. Braumann, M. W. Busse, N. Maassen, W. Schmidt (Hrsg.):

Sport Rettung oder Risiko für die Gesundheit?

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1989, 499-502

CASPARI W., N. ZUNTZ:

Stoffwechsel.

In: Tigerstedt R. (Hrsg.):

Handbuch der physiologischen Methodik I

Hirzel, Leipzig 1911

CHAPMAN CB.:

Edward Smith 1818-1874.

Physiologist, human ecologist, reformer.

J History. Med. All Sci. 22, 1967

CHAPMAN R.F., J. STRAY-GUNDERSEN, B.D. LEVINE:

Individual variation in response to altitude training.

J. Appl. Physiol. 85, 1998, 1448-1456

CHINTANASERI C.:

Untersuchungen zur Bistimmung der PWC_{170} mit unterschiedlichen Leistungsstufen.
Inaug. Diss. (Dr. med.) Freie-Universität Berlin 1973, 1-33

CHRISTENSEN E.H.:

Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit.
Fünf Mitteilungen.
Die Pulsfrequenz während und unmittelbar nach schwerer körperlicher Arbeit.
Arbeitsphysiologie 4, 1931, 453-469

CHRISTENSEN E.H.:

Der Kreislauf in großen Höhen.
Scand. Arch. Physiol. 76, 1937, 75-100

CLASING D., I. SIEFRIED:

Sportärztliche Untersuchung und Beratung.
Perimed Verlag, Erlangen 1986

COEN B., A. URHAUSEN, G. COEN, W. KINDERMANN:

Der Fußball-Score: Bewertung der körperlichen Fitness.
Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 49, 1998, 187-192

CONSOLAZIO C.F., R.E. JOHSON, L.J. PECORA:

Physiological Measurements of Metabolic Functions in Man.
Mc GRAW-HILL Book Company, Now York-Toronto-London 1963

COTTA H., H.M. SOMMER:

Die Belasbarkeit und Trainierbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane in den verschiedenen Alters- und Entwicklungsstufen.
In: Prokop L. (Hrsg.):
Kindersportmedizin.
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York 1986, 5-18

COUBERTIN P.DE.:

Olympism

Selected Writings, Müller N. (Eds.):

International Olympic Committee, Lausanne 2000

DAL MONTE A.:

Exercise Testing and ergometers.

In: Dirix A., H.G. Knuttgen, K. Tittel (Eds.):

The Olympic Book of Sports Medicine, Vol I

Blackwell Scientific Publications, Oxford-London-Boston-Melbourne 1988, 121-150

DANIEL U.:

Vergleichende spiroergometrische und sportartspezifische Rennrad-Belastungen von Amateur- und Touristikradfahrern.

Wiss. Hausarbeit (Sportmedizin / Sportwissenschaft), Justus-Liebig-Universität Gießen 1986, 1-95

DANIELS J., N. OLDRIDGE:

The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners.

Med. Sci. Sports Exerc. 2, 1970, 107-112

DE CASTRO P., E. VON-EIFF, M. TRÖGER, P.E. NOWACKI:

Kardiorespiratorische Reaktionen jugendlicher Basketballspieler im Grenzbereich ihrer Leistungsfähigkeit.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1981, 251-259

DIRIX A., H.G. KNUTTGE, K. TITTEL:

Olympia Buch der Sportmedizin.

Deutscher Ärzte Verlag, Köln 1989

DITTER H., P.E. NOWACKI:

Körperliche und kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der Junioren-Ruder-Nationalmannschaft vor der Weltmeisterschaft 1975.

Sportarzt u. Sportmed. 27, 1976, 73-79

DITTER H., P.E. NOWACKI, E. SIMAI, I. SIEGFRIED:

Computergesteuerte spiroergometrische Funktionsdiagnostik bei national erfolgreichen Faustballspielerinnen.

Sportarzt u. Sportmed. 28, 1977, 227-230

DÖBBLEN W.:

A simple bicycle ergometer.

J. Appl. Physiol. 7, 1954, 222-224

DRANSFELD B.:

Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffpuls bei ergometrischer Belastung.

In: Mellerowicz H., E. Jokl, G. Hansen (Hrsg.):

Ergebnisse der Ergometrie.

COR-Beiträge zur Kardiologie

Perimed Verlag, Erlangen 1975, 125-145

EWALD M.:

Kardiozirkulatorische Reaktionen von A-Jugend Fußballspielern bei erschöpfender Fahrrad- und Laufbandergometrie im Vergleich zu einem Feldtest.

Wiss. Examensarbeit (Sportmedizin / Sportwissenschaft), Justus-Liebig-Universität Gießen 1998, 1-86

FANDREY K-D.:

Die Bedeutung der maximalen Sauerstoffschuld für die Einschätzung der anaeroben Kapazität in der Leistungsphysiologie unter besonderer Berücksichtigung der Fünf- und Zehnminuten- Sauerstoffschuld an der Gesamtsauerstoffschuld.

Wiss. Staatsexamensarbeit (Sportmedizin / Sportwissenschaft), Justus-Liebig-Universität Gießen 1977, 1-54

FICK A.:

Ein zu physiologischen Untersuchungen verwendbares Dynamometer.
Pflügers. Arch. Physiol. 50, 1891, 189-191

FLEISCH A.:

Ergostat a puissances constantes et multiples.
Helvetica Med. Acta Series A 17, 1950, 47-58

FLEISCH A.:

Neue Methoden zum Studium des Gasaustausches der Lungenfunktion.
Thieme Verlag, Leipzig 1956

FRANZ I.-W.:

Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung der PWC₁₇₀.
Inaug. Diss. (Dr. med.) Freie-Universität Berlin 1973, 1-43

FRANZ I.-W.:

Vergleichende Messung der PWC₁₇₀ mit Leistungsstufen von unterschiedlichen Größe
und Dauer.
Zschr. Kardiol. 66, 1977, 670-674

FRANZ I.-W.:

Ergometrie bei Hochdruck-und Koronarkranken in der täglichen Praxis.
Forum Galenus Mannheim 11.
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1984, 1-38

FRIEDMANN B.:

Entwicklungen im Höhentraining:
Trends und Fragen
Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 51, 2000, 418-423

GADERMANN E., K. JUNG:

Zur Objektivierung der Leistungsfähigkeit durch maximale Arbeit am Fahrradergometer im Liegen.

Med. Welt 40, 1968, 2147-2148

GAERTNER G.:

Über die therapeutische Verwendung der Muskelarbeit und einen neuen Apparat zu ihrer Dosierung.

Wiener medizinische Blätter 10, 1887, 1554-1582

Wiener medizinische Zeitung 32, 1887, 607-621

GAISL G., J. BUCHBERGER:

Der aerobe - anaerobe Übergang bei 10-11 jährigen Sportschülern.

Leistungssport. 9, 1979, 202-205

GREILLING H., GRESSNER AM.:

Lehrbuch der Klinischen Chemie und Pathobiochemie.

Schattauer, Stuttgart 1987

GRIMAUX E.:

Lavoisier 1743-1794.

D'après sa correspondance, ses manuscrits, ses papiers de famille et d'autres documents inédits.

Félix Acan, Paris, 1888

GROßE-LORDEMAN H., E.A- MÜLLER:

Der Einfluß der Leistung und der Arbeitsgeschwindigkeit auf das Arbeitsmaximum und den Wirkungsgrad beim Radfahren.

Arbeitsphysiologie 9, 1937, 454-475

GUNGA HC.:

Leben und Werk des Berliner Physiologen Nathan Zuntz (1847-1920)

Matthiesen Verlag, Husum 1989

GUYTON A.G., C.E. JONES, T.G. COLEMAN:

Circulatory physiology: Cardiac Output and its Regulation.
W.B. Saunders, Philadelphia-London 1973

HANRIOT M., C. RICHET:

Nouveau procédé de dosage de l'acide carbinique expiré et de l'oxygène absorbé dans les actes respiratoires.
Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 104, 1887, 435

HANSEN E.:

Über die Sauerstoffschuld bei körperlicher Arbeit.
Arbeitsphysiologie 8, 1935, 151-171

HECK H.:

Laktat in der Leistungsdiagnostik.
Hofmann, Schorndorf 1990.

HELBING G., P.E. NOWACKI:

Die maximale Sauerstoffschuld als Leistungskriterium.
In: Hahnekopf G.(Hrsg.):
Kongressbericht 16. Weltkongress für Sportmedizin 12-16.6.1966, Hannover
Deutscher Ärzte Verlag, Köln-Berlin 1966, 253-256

HENNE C.:

Sportartspezifische kardiorespiratorische und metabolische Leistungsdiagnostik sowie geschlechtsspezifische Besonderheiten in der spezifischen Leistungsfähigkeit im Triathlon.
Inaug. Diss. (Dr. med.), Justus-Liebig-Universität Gießen 2001, 1-149

HERBST R.:

Der Gasstoffwechsel als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit, die Bestimmung des Sauerstoffaufnahmevermögens beim Gesunden.

Dtsch. Arch. Klin. Med. 162, 1928, 33-50

HERBST R.:

Über das Verhalten von Gasstoffwechsel und Kreislauf nach körperlicher Arbeit.

Arbeitsphysiologie 9, 1937, 220-232

HERMANNSEN J.:

Untersuchungen über die maximale Ventilationsgröße (Atemgrenzwert).

Zschr. ges. exper. Med. 90, 1933, 180

HILL A.V., C.N. LONG, H. LUPTON:

Muscular exercise, Lactic acid and the supply utilisation of oxygen.

Proc-Roy-Soc-B 96, 1924, 438

HILL A.V.:

Muscular activity.

Williams and Wilknsis, Baltimore 1925

HIRN G.A.:

Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur, présentées à la Société de physique de Berlin.

Bureau de la Revue d'Alsace, Colmar 1858

HOLLMANN W.:

Herzvolumenleistungsquotient und Wirkungsgrad sowie die Lungenvolumina bei Sportarten unter 35 Jahren.

Inaug. Diss. (Dr. med.), Universität Köln 1954

HOLLMANN W.:

Der Arbeits- und Trainingseinfluss auf Kreislauf und Atmung.
Dr. D. Steinkopff Verlag, Darmstadt 1959

HOLLMANN W.:

The relationship between pH, lactic acid, potassium in the arterial and venous blood, the ventilation, PoW and pulse frequency during increasing spiroergometric work in endurance-trained and untrained persons.
Pan-American Congress for Sports Medicine, Chicago 1959

HOLLMANN W.:

Zur Frage der Dauerleistungsfähigkeit.
Forschr. Med. 79, 1961, 439-441

**HOLLMANN W., H. VENRATH, A. BONNEKOH, J.V. NÖCKER,
R. KRENGEL:**

Untersuchung zur Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit deutscher Fußball-Spieterspieler.
Sportarzt. 13, 1962, 172-183

HOLLMANN W.:

Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers.
Spiroergometrische Beurteilung und Untersuchungsergebnisse von männlichen und weiblichen Personen des 1.-8. Lebensjahrzehnts.
Wissenschaftliche Schriftenreihe des DSB, Bd.5
Johann Ambrosius Barth Verlag, München 1963

HOLLMANN W.:

Körperliches Training als Prävention von Herz-Kreislaufkrankheiten.
Hippokrates Verlag, Stuttgart 1965

HOLLMANN W.:

Kriterien der körperlichen, cardialen und pulmonalen Leistungsgrenzen.

In: Mellerowicz, H., G. Hansen (Hrsg.):

Kongressbericht des 1. Internationalen Seminars für Ergometrie.

Ergon Verlag, Berlin 1965, 186-196

HOLLMANN W., C. BOUCHARD, G. HERKENRATH:

Die Entwicklung der Leistungsfähigkeit des kardio-pulmonalen Systems bei Kindern und Jugendlichen des achten bis achtzehnten Lebensjahres.

Sportarzt u. Sportmed. 16, 1965, 255-260

HOLLMANN W., H. VENRATH, B. GRÜNEWALD:

Untersuchungen zum Leistungsverhalten in mittleren Höhen.

Sportarzt u. Sportmed. 18, 1967, 250-263

HOLLMANN W., H. LIESEN:

Über die Bewertbarkeit des Laktats in der Leistungsdiagnostik.

Sportarzt u. Sportmed. 24, 1973, 175-182

HOLLMANN W.:

Über die allgemeine aerobe Ausdauer und ihre leistungsbegrenzenden Faktoren.

Symposion Pan-Asiatische Spiele, Teheran 1974

HOLLMANN W.:

Der Mensch an den Grenzen seiner körperlichen Leistungsfähigkeit.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1981, 1-10

**HOLLMANN W., H. LIESEN, A. MADER, H. HECK, R. ROST,
B. DUFAUX, P. SCHÜRCH, D. LAGERSTRÖM, R. FÖHRENBACH:**

Zur Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit der deutschen Fußball-Spitzenspieler.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 32, 1981, 113-120

HOLLMANN W.:

Lungenfunktion, Atmung, Gasstoffwechsel im Sport.

In: Hollmann W.(Hrsg.):

Zentrale Theme der Sportmedizin.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokio, 3. Auflage, 1986, 144-168

HOLLMANN W., A. MADER:

The respiratory system.

In: Dirix A., H.G. Knuttgen, K. Tittel (Eds.):

The Olympic Book of Sport Medicine, Vol.1.

Oxford-London-Edinburgh-Boston-Palo Alto-Melbourne 1988, 49-57

HOLLMANN W.:

Spiroergometrie.

In: Röthig (Red.):

Sportwissenschaftliches Lexikon.

Hofmann, Schorndorf 6. Auflage 1992

HOLLMANN W.:

Medizin – Sport – Neuland

40 Jahre mit der Deutschen Sporthochschule Köln

Erinnerungen – Erlebnisse – Ansichten.

Academia Verlag, Sankt Augustin 1993

HOLLMANN W., J.P. PRINZ:

Zur Geschichte und klinischen Bedeutung der kardiopulmonalen Arbeitsuntersuchung
unter besonderer Berücksichtigung der Spiroergometrie.

Zschr. Kardiol. 83, 1994, 247-257

HOLLMANN W., T. HETTINGER:

Sportmedizin, Arbeits- und Trainingsgrundlagen.

Schattauer Verlag, Stuttgart-New York, 2.Auflage, 1980, 792

Schattauer Verlag, Stuttgart-New York, 3.Auflage, 1990, 424-434

Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.

Schattauer Verlag, Stuttgart-New York, 4.Auflage, 2000

HOLLMANN W.:

Sportmedizin

In: Bäumler G., J. Court, W. Hollmann (Hrsg.):

Sportmedizin und Sportwissenschaft.

Historisch-systematische Facetten.

Academia Verlag, Sankt Augustin 2002, 21-132

HOLLOSZY J.O.:

Biochemical adaptations in muscle

J. biol. Chem. 242, 1967, 2278

HOLMGREN A., K.H. MATTSSON:

Scand. J. Clin. Laborat. Invest. 6, 1954

HOLZER W., M. KALINKA:

Über einfaches Fahrradergometer und dessen Eichung.

Arbeitsphysiologie 8, 1935, 778-782

HÜLLMANN K.D.:

Sportmedizin für Klinik und Praxis.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1983

ISRAEL S.:

Sport, Herzgröße und Herzkreislaufdynamik.

Sportmedizinische Schriftreihe, Bd. 3.

Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1968

**ISRAEL S., H. KUPPARDT, GOTTSCHLALK, G. NEUMANN,
P. BÖHME:**

Die submaximale Herzfrequenz als leistungsdiagnostische Kenngröße.
Med. u. Sport. 14, 1974, 297-304

ISRAEL S.:

Sport und Herzschlagfrequenz.
Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1982

JOHANNSON, J.E.:

Untersuchungen über die Kohlensäureabgabe bei Muskeltätigkeit.
Scand. Arch. Physiol. 11, 1901, 273-307

JOKL E., P. JOKL:

The physiological Basis of Athletic Records.
Charles C Thomas. Publisher, Springfield-Illinois-U.S.A 1968

JOKL E., I.T. Mc CLELLAN:

Exercise and cardiac death.
Medicine and Sport, Bd.V
Basel-München-Paris-London-New York-Sydney 1971, 1-185

JONATH U., R. KREMPEL:

Konditionstraining.
Rowohlt Verlag, Reinbek 1981

JORDI A.:

Eine Vorrichtung (Totalisator) zur Bestimmung der eingeatmeten Luftmenge am
Knippingschen Stoffwechselapparat.
Arbeitsphysiologie 6, 1933, 380-383

JÜNGST B.-K:

Sportmedizin im Kindesalter.

In: Schute F. J., J. Spranger (Hrsg.):

Lehrbuch der Kinderheilkunde

Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-Jena-New York 1993, 50-52

KELLER H.:

Anaerobe Belastbarkeit von Kindern mit unterschiedlicher sportlicher Aktivität im Alter von 6-14 Jahren unter besonderer Berücksichtigung des Laktatverhaltens.

Inaug. Diss. (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität Gießen 1993, 1-119

KELLER H., P.E. NOWACKI:

Entwicklung der anaeroben Kapazität bei trainierten und untrainierten Kindern im Alter von 6-14 Jahren am Beispiel des Laktats.

In: Liesen H., M. Weiß, M. Baum (Hrsg.):

Regulations- und Repairmechanismen

33. Deutscher Sportärztekongress Paderborn 1993

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1994, 20-24

KELSO L.E.A., F.A. HELLBRANDT:

The recording electrodynamic brake bicycle ergometer.

J. Clin. Lab. Med. 19, 1932, 1105-1113

KEUL J., E. DOLL, D. KEPPLER:

Muskelstoffwechsel.

Die Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grundlage seiner Funktion.

Johann Ambrosius Barth Verlag, München 1969

KEUL J., W. KINDERMANN, G. SIMON:

Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik.

Leistungssport 8, 1978, 22-32

KEUL J., W. KINDERMANN, G. SIMON, H. REINDELL:

Anpassungserscheinungen durch Schul- und Leistungssport im Kindesalter.
Sportwissenschaft 8, 1988, 222-234

KILLICH C.:

Anwendung und Bewertung ausgewählter Untersuchungsverfahren zur
Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Biathlon-Nachwuchsbereich.
Inaug. Diss. (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität Gießen 2001, 1-133

KIM J.:

Die PWC₁₇₀ im Kindes- und Jugendalter (7-18 Jahre) und ihre Bedeutung für den
Schul- und Vereinssport.
Inaug. Diss. (Dr. phil.) Justus-Liebig-Universität Gießen 1994, 1-186

KIM J.H., Y. ELGOHARI, N.S. NOWACKI, N. WU, P.E NOWACKI:

Die PWC₁₇₀ im Kindes- und Jugendalter (7-18 Jahre) und ihr Stellenwert für die
sportmedizinische Leistungsdiagnostik.
37. Deutscher Kongress für Sportmedizin und Prävention, Rotenburg 26-30 September
2001
Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 52 (Abstractband), 2001, B-P-267,80

KINDERMANN W., G. HUBER, J. KEUL:

Aerobe Kapazität bei Kindern und Jugendlichen in Beziehung zum Erwachsenen.
Sportarzt u Sportmed. 26, 1975, 112-115

KINDERMANN W., M. SCHRAMM, J. KEUL:

Anaerobe Energiebereitstellung im Hochleistungssport.
Wiss. Schriftenreihe d. Dt. Sportbundes, Bd.13
Hofmann Verlag, Schorndorf 1977

KINDERMANN W., J. KEUL:

Anaerobe Kapazität bei verschiedenen Körperlichen Belastungsformen.
Beiheft zu Leistungssport 9, 1977, 80-83

KINDERMANN W.:

Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis.
Dtsch. Zschr. f. Sportmedizin 40, 1987, 244-268

KINDERMANN W., H. GABRIEL. B. COEN, A. URHAUSEN:

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik im Fußball.
Dtsch. Zschr. f. Sportmedizin 44, 1993, 232-243

KIRCHHOFF H., H. REINDELL, A. GEBAUER:

Untersuchungen über die Sauerstoffaufnahme, Kohlensäureabgabe, das Atemminutenvolumen, Atemäquivalent und den respiratorischen Quotienten während körperlicher Belastung bei Normalpersonen und Hochleistungssportlern.
Dtsch. Arch. Klin. Med. 203, 1956, 423-447

KLEMT U., R. ROST:

Kardiopulmonale und methabolische submaximale und maximale Leistungsparameter bei Mädchen und Jungen zwischen 6 und 10 Jahren.
In: Jeschke, D. (Hrsg.):
Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaften. 2. Symposium der Sektion “ Sportmedizinische Forschung und Lehre an den Hochschulen “ des Deutschen Sportärztebundes. (Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin e.V.)
Tübingen, 5.-8. Mai 1983.
Spriner Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1986, 229-236

KLIMT F.:

Die sportliche Belastbarkeit bei Kindern und Jugendlichen aus internistischer Sicht.
Der Kassenarzt 24, 1984, 33-44

KNIPPING H.-W.:

Ein einfacher Apparat zur exakten Gasstoffwechseluntersuchung in der Klinik und ärztlichen Praxis.
Münch. med. Wschr 71, 1924, 553

KNIPPING H.-W.:

Beitrag zur Technik der Gasstoffwechseluntersuchung.
Zschr. f. d. ges. exper. Med. 47, 1925, 1-3

KNIPPING H. -W.:

Die klinische Gasstoffwechseluntersuchung.
Tung-Chi, Med. Monatsschrift, Shanghai 2, 1926, 55-60

KNIPPING H. -W.:

Beitrag zur gasanalytischen Technik in der Medizin.
Zschr. f. d. ges. exper. Med. 53, 1926, 1-16

KNIPPING H. -W.:

Zur Technik der langandauernden experimentellen und der klinischen
Gasstoffwechseluntersuchung.
Zschr. f. d. ges. exper. Med. 57, 1927, 433-449

KNIPPING H. -W.:

Ergebnisse der Stoffwechseluntersuchung für die Klinik.
Klin. Wschr. 7, 1928, 49-52

KNIPPING H. -W.:

Die Untersuchung der Ökonomie von Muskelarbeit von Gesunden und Kranken.
Zschr. ges. exper. Med. 66, 1929, 517

KNIPPING H.-W.:

Ergebnisse der Ergographie in der Klinik.
Die Arbeitsinsuffizienz von Herz und Kreislauf.
Klin. Wschr. 17, 1938, 1457-1460

KNIPPING H.-W.:

Beitrag zur Klinischen Funktionsprüfung von Atmung und Kreislauf.
Beitr. Z. Klin. d. Tuberkulose 92, 1938, 144-169

KNIPPING H. -W., W. BOLT, H. VALENTIN, H. VENRATH:

Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken.

Enke Verlag, Stuttgart 1955 / 1960

KNUTTGEN H.G.:

Lactate and oxygen debt: an introduction.

In: Pernow B., B. Saltin (Eds.):

Muscle Metabolism During Exercise.

Plenum Press, New York-London 1971, 361-369

KRAUSE R.:

Die maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der kardiopulmpnalen Leistungsfähigkeit.

Inaug. Diss. (Dr.med), Medizinische Akademie Lübeck 1971, 1-152

KROGH A.:

A bicycle ergometer and respiration apparatus for the experimental study of muscular work.

Scand. Arch. Physiol. 33, 1913, 375-394

LEHMANN C., F. MUELLER, I. MUNK, H. SENATOR, N. ZUNTZ:

Untersuchung an zwei hungernden Menschen.

Arch. path. Anatomie u. Physiologie. f. klin. Med. 131/Suppl 1, 1893

LEHMANN M., J. KEUL:

Katecholaminausscheidung und Katecholaminblutspiegel bei verschiedenen Belastungen.

In: Nowacki P.E., D. Böhmer (Hrsg.):

Sportmedizin - Aufgaben und Bedeutung für den Menschen unserer Zeit.

Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongress, Bad Nauheim 1978

Thieme Verlag, Stuttgart 1980, 99-103

LIESEN H.:

Training konditioneller Fähigkeiten in der Vorbereitungsperiode.
Fußballtraining 1, 3, 1983, 11-14

LINDEMANN H., H.W. RAUTENBURG, R. BREITBACH, R. HAASER:

Herzfrequenz-Anstieg und PWC_{170} als Maß für die Leistungsfähigkeit von 5- bis 14 jährigen Kindern.
Zschr. Kardiol. 69, 1980, 508-514

LÖFTLER G., P. PETRIDES:

Biochemie& Pathobiochemie.
Springer Verlag; Berlin-Heidelberg-New York 1997

MACHAN W.:

Experimentelle Untersuchungen über die Exaktheit der biologischen Leistungsgrößen des “ Dynavit-Meditronic-Ergometers “ im Vergleich zu Standardgeräten der Sportmedizinischen Diagnostik.
Wiss. Hausarbeit (Sportmedizin / Sportwissenschaft), Justus-Liebig-Universität Gießen 1978, 1-152

MADER A., H. LIESEN, H. HECK, H. PHILIPPI, P.M. SCHÜRCH, W. HOLLMANN:

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.
Sportarzt u. Sportmed. 27, 1976, 80-88 u. 109-112

MÄURER U.:

Die Bedeutung der modernen kardio-respiratorischen Funktionsdiagnostik für jugendliche Leistungssportler.
Inaug. Diss.(Dr. med), Justus-Liebig-Universität Gießen 1977, 1-238

MAREES H.DE.:

Sportphysiologie.
Tropon Verlag, Köln, 1.Auflage, 1976

MATHEWS D.K., E.L. FOX:

The Physiological Basis of Physical Education and Athletics.
W.B. Saunders, Company, Philadelphia 1976

MATZDORFF P.:

Untersuchung über die Entwicklung der maximalen kardiozirkulatorischen und kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit von männlichen Schulsportlern, Freizeitsportlern und Wettkampfsportlern im Alter von 14,0-17,9 Jahren.
Inaug. Diss. (Dr. med.), Justus-Liebig-Universität Gießen 1984, 1-63

McARDLE W., F. KATCH, V. KATCH:

Exercise Physiology.
Energy, Nutrition and Human Performance
Williams&Wilkins 4. Ed., Baltimore 1996

MEDAU H.J., P.E. NOWACKI:

Die ergometrische Belastung von Frauen.
Ein Modell zur besseren Leistungsbeurteilung.
Therapiewoche 34, 1984, 3873-3875.

MEDAU H.J., P.E. NOWACKI:

Frau und Sport III
Die Bedeutung der nichtolympischen Disziplinen für die sporttreibende Frau.
Perimed Verlag, Erlangen 1988

MEDAU H.J., P.E. NOWACKI, H. AVENHAUS:

Die Beurteilung des Sporthertzens im Wandel der Zeit.
Med. Welt 39, 1988, 13-23

MEDAU H.J., P.E. NOWACKI:

Frau und Sport IV.

Die olympischen Disziplinen der Frau im Sport.

Erstes gesamtdeutsches sportmedizinisches Symposium in Coburg 1990.

Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 41

Perimed Verlag, Erlangen 1992, 1-326

MELLEROWICZ H.:

Herz und Blutkreislauf beim Sport.

In: Arnold A. (Hrsg.):

Lehrbuch der Sportmedizin.

Barth Verlag, Leipzig, 1956, 129-189

MELLEROWICZ H.:

Vergleichende Untersuchungen über das Ökonomieprinzip in Arbeit und Leistung des trainierten Kreislaufs und seine Bedeutung für die präventive und rehabilitative Medizin.

Arch. Kreisl. Forsch. 24, 1956, 70-176

MELLEROWICZ H., P.E. NOWACKI:

Vergleichende Untersuchungen von Atem- und Kreislauffunktionen bei physikalisch gleicher ergometrischer Arbeit im Stehen, Sitzen und Liegen.

Zschr. Kreisl. Forsch. 50, 1961, 1002-1014

**MELLEROWICZ H., H. REINDELL, W. HOLLMANN, H. NIS,
H. ROSKAMM:**

Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung.

Zschr. Kreisl. Forsch. 50, 1961, 273-281

**MELLEROWICZ H., W. MELLER, J. WOWERIER, J. ZERDICK,
O. KETUSINH, B. KRAL:**

Vergleichende Untersuchungen über Wirkung von Höhentraining auf die
Dauerleistung in Meereshöhe.

Sportarzt u. Sportmed. 21, 1970, 207-215

MELLEROWICZ H.:

Ergometrie.

Grundriss der medizinischen Leistungsmessung.

Urban & Schwarzenberg Verlag, München-Wien-Berlin, 1.Auflage, 1962

Urban & Schwarzenberg Verlag, München-Wien-Berlin, 2.Auflage, 1975

Urban & Schwarzenberg Verlag, München-Wien-Berlin, 3.Auflage, 1979

MELLEROWICZ H.:

Der heutige Standard der Ergometrie.

Med. Klin. Prax. 78, 1983, 12-19

MELLEROWICZ H., J -W. FRANZ:

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.

4.Internationales Seminar für Ergometrie

Perimed Verlag, Erlangen 1983

MELLEROWICZ H.:

Standardisierung in der Ergometrie.

In: Mellerowicz H, J -W. Franz (Hrsg):

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.

Perimed Verlag, Erlangen 1983, 81-86

MICHALOW V.V.:

Die Mobilisierung der anaeroben Energiebereitstellung von Sportlern bei Muskellarbeit
unter unterschiedlichen Bedingungen.

Med. u. Sport 13, 1973, 369-373

MOCELLIN R.:

Zur sportlichen Belastbarkeit im Kindes- und Jugendalter.

In: Nachreiner F. (Hrsg.):

Aktuelle Probleme der Belastungs- und Beanspruchungsforschung.

Lang Verlag, Frankfurt 1988, 11-32

MOHAMMED M.F.:

Die Entwicklung des sportmedizinischen Leistungsprofils im deutschen Fußballsport.

Inaug. Diss. (Dr. Phil.) Justus-Liebig-Universität Gießen 1999, 1-209

MÜLLER E.A.:

Zur Vereinfachung des Respirationsversuches nach Douglas-Haldane.

Arbeitsphysiologie 2, 1930, 18-22

MÜLLER E.A.:

Die Erholung nach statischer Haltearbeit.

Arbeitsphysiologie 8, 1935, 72-79

MÜLLER E.A.:

Das Verhältnis des Arbeitsmaximums zum Energieverbrauch bei statischer Halte- und Kontraktionsarbeit.

Arbeitsphysiologie 9, 1937, 62-69

MÜLLER E.A.:

Der Einfluß der Sattelstellung auf das Arbeitsmaximum und den Wirkungsgrad beim Radfahren.

Arbeitsphysiologie 10, 1938, 1-7

MÜLLER E.A.:

Ein Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit.

Arbeitsphysiologie 14, 1950, 271-284

MÜLLER E.A., TH. HETTINGER:

Über Unterschiede der Trainingsgeschwindigkeit atrophierter und normaler Muskeln.
Arbeitsphysiologie 15, 1950, 223-230

MÜLLER E.A., K. KARRASCH:

Der Einfluss der Pausenanordnung auf die Ermüdung bei Schwerarbeit.
Int. Zschr. angew. Physiol. 16, 1955, 45

MÜLLER E.A.:

Die physische Ermüdung.
In: Lehmann G. (Hrsg.):
Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin
I. Band, Arbeitsphysiologie
Urban & Schwarzenberg, Berlin-München-Wien, 1961, 405-441

NEUMANN G., K-P. SCHÜLER:

Sportmedizinische Funktionsdiagnostik.
Sportmedizinische Schriftreihe, Bd. 29
Barth Verlag, Leipzig-Berlin-Heidelberg, 2. Auflage, 1994

NEUMANN H.:

Basketballtraining. Taktik – Technik – Kondition.
Meyer&Meyer, Aachen 1990

NIELSEN M.:

Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit.
Scand. Arch. Physiol. 79, 1938, 193-230

NÖCKER J., V. BÖHLAU:

Der Sauerstoffpuls in Abhängigkeit vom Lebensalter.
Verh. dtsch. Ges. Kreisl. Forsch. 24, 1958, 225-231

NÖCKER J.:

Physiologie der Leibesübungen.
Enke Verlag, Stuttgart, 1. Auflage, 1964
Enke Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, 1976
Enke Verlag, Stuttgart, 4. Auflage, 1980

NOWACKI N.S.:

Entwicklung des sportmedizinischen Leistungsprofils beim Skilanglauf in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.
Inaug. Diss. (Dr. med.) Christian Albrechts Universität zu Kiel in Verbindung mit der Justus-Liebig-Universität Gießen 1998, 1-62

NOWACKI P.E.:

Die Spiroergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.
Leistungssport 1 (H2), 1971, 37-51

NOWACKI P.E., K. ADAM, R. KRAUSE, U. RITTER:

Die Spiroergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.
Rudersport 89, 1971, Trainer-Journal 1-4, 1971

NOWACKI P.E., R. KRAUSE, U. RITTER:

Die Rolle der Spiroergometrie im neuen System der sportmedizinischen Untersuchungen für den Spitzensport im Bereich der Bundesrepublik Deutschland.
In: Börger P., Deutscher Judo-Bund (Hrsg.):
Intern. Sport-Ärzte-Kongress 30.08.1971 während der Judo-Weltmeisterschaft in Ludwigschafen.
Kongressbericht 1971, 1-19

NOWACKI P.E., R. KRAUSE, K. ADAM, M. RULFFS:

Über die kardio-pulmonale Leistungsfähigkeit des Deutschlandachters vor seinem Olympiasieg 1968.

Sportarzt u. Sportmed. 22, 1971, 227-229

NOWACKI P.E.:

Funktionsdiagnostik der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit.

Der Kassenarzt 13, 1973, 77-94

NOWACKI P.E., K. ADAM, R. KRAUSE:

Aerobic and anaerobic capacity from the national rowing-eight as limiting factors of sportive and physical performance before and after training at high altitude.

Third European Congress of Sports Medicine, Budapest 18. -20. 09. 1974, N. 148, 96

NOWACKI P.E.:

Die Objektivierung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit mit einfachen und komplizierten Methoden.

Physiotherapie 65, 1974, 663-666, 727-732, 792-795

NOWACKI P.E.:

Möglichkeiten der medizinischen Leistungsdiagnostik.

In: DSB, Bundesausschuss Leistungssport (Hrsg.):

Informationen zum Training.

Medizinische Betreuung des Leistungssportlers in Training und Wettkampf.

Beiheft zu Leistungssport 3, 1975, 77-119

NOWACKI P.E.:

Cardio-pulmonale Leistungsprüfung.

In: DSB, Bundesausschuß Leistungssport (Hrsg.):

Informationen zum Training.

Beiheft zu Leistungssport 4, 1975, 65-85

NOWACKI P.E.:

Sportmedizinische und leistungsphysiologische Aspekte des Ruderns.

In: Adam K., H. Lenk, P.E. Nowacki, M. Rulffs, W. Schröder:

Rudertraining.

Limpert Verlag, Bad Homburg v. d. H. 1977, 251-615

NOWACKI P.E.:

Medizinische Aspekte des Höhentrainings der Ruderer

In: Adam K., H. Lenk, P.E. Nowacki, M. Rulffs, W. Schröder:

Rudertraining.

Limpert Verlag, Bad Homburg v. d. H. 1977, 563-584

NOWACKI P.E.:

Die biologische Leistungsfähigkeit der Deutschland-Achter.

In: Lenk H. (Hrsg.):

Handlungsmuster Leistungssport, Karl Adam zum Gedanken.

Beitrag des Rudertrainers K. Adam für die moderne Sport- und Leistungsmedizin.

Hofmann Verlag, Schorndorf, 1977, 341-369

NOWACKI P.E., K. D. FANDREY:

Maximal oxygen consumption and oxygen debt in well trained athletes.

In: Brasilia Congress Executive Committee (Eds.):

International Federation of Sports Medicine.

Kongreßband XXI, world Congress on Sports medicine, Brasilia 07. – 12.09, 1978,
209

NOWACKI P.E.:

Beurteilung körperlicher und biologischer Leistungsfähigkeit bei Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlicher schulsportlicher Aktivität.

Therapiewoche 28, 1978, 5402-5424

NOWACKI P.E.:

Luftdruck; Temperatur und sportliche Leistung.

Medizinische Aspekte des Höhentrainings.

Therapiewoche 28, 1978, 5479-5500

NOWACKI P.E.:

Die Bedeutung der modernen kardio-respiratorischen Funktionsdiagnostik für jugendliche Leistungssportler und ihre Trainer.

In: Clauss A.(Hrsg.):

Sportärztliche und Sportpädagogische Betreuung.

Beiträge zur Sportmedizin, Bd 8

Perimed Verlag, Erlangen 1978, 153-178

NOWACKI P.E.:

Das Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung.

In: Mellerowicz H. (Hrsg.):

Ergometrie

Grundriss der medizinischen Leistungsmessung.

Urban & Schwarzenberg Verlag, München-Wien-Baltimore, 3.Auflage, 1979,242-256

NOWACKI P.E., P. ROSENTHAL, H.-J. VÖLPEL:

Vergleichende kardiorespiratorische Funktionsprüfung bei erfolgreichen jugendlichen Handballspielern und Wettkampfruderern bei maximaler Ausbelastung auf dem Laufband und Fahrradergometer nach der Watt/kg-Methode.

In: Nowacki P.E., D. Böhmer (Hrsg.):

Sportmedizin - Aufgaben und Bedeutung für den Menschen unserer Zeit.

Kongressband 26. Deutscher Sportärztekongress, Bad Nauheim 1978.

Thieme Verlag, Stuttgart-New York 1980,479-481

NOWACKI P.E.:

Neue Aspekte der körpergewichtsbezogenen Fahrrad- und Laufbandergometrie für den Leistungs-, Breiten- und Rehabilitationssport.

In: Kindermann W., W. Hort (Hrsg.):

Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport.

Berichtsband 27. Deutscher Sportärztekongress Saarbrücken 16.10-19.10.1980.

Demeter Verlag, Gräfeling 1981, 255-267

NOWACKI P.E.:

CO₂ production and respiratory quotient in ergometric performance.

In: Mellerowicz H., V.N. Smodlaka (Eds.):

Ergometry.

Urban & Schwarzenberg Verlag, Baltimore-München 1981, 243-258

NOWACKI P.E.:

The ventilatory equivalent in ergometric performance.

In: Mellerowicz H., V.N. Smodlaka (Eds.):

Ergometry.

Urban & Schwarzenberg Verlag, Baltimore-München 1981, 229-242

NOWACKI P.E.:

Medizinische Aspekte des Höhentrainings.

In: Clasing D. (Hrsg.):

Sportärztliche Ratschläge

dsb Trainerbibliothek, Bd. 20

Bartels u. Wernitz, Berlin 1981, 97-102

NOWACKI P.E.:

Maximale aerobe und anaerobe Kapazität von Hochleistungsrudern im Grenzbereich der Leistungsfähigkeit und ihre Beeinflussung durch ein Höhentaining.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1981, 38-56

NOWACKI P.E.:

Chronische Kreislauferkrankungen und Sport.

In: Lübs E.D. (Hrsg.):

Chronische Erkrankungen und Sport.

Beiträge zur Sportmedizin Bd. 18

Perimed Verlag, Erlangen, 1983, 26-51

NOWACKI P.E., P. HAUFERMAN, A. KERN, G.H. MÜLLER:

Körperliche und biologische Leistungsfähigkeit von Sporttauchen.

Therapiewoche 34, 1984, 3908-3915

NOWACKI P.E., D. SCHÄFER:

Die Physical Working Capacity PWC_{170} bei körperrgewichtbezogener Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und ihre Bedeutung als Leistungsparameter in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Sportart.

Therapiewoche 34, 1984, 3835-3853

NOWACKI P.E., P. DE CASTRO:

Development of the biological performance of German National Football Teams.
(FRG, Juniors and Professionals)

In: Bachl N., L. Prokop, R. Suckert (Eds.):

Current topics in Sports Medicine.

Proceedings of the 22. World Congress of Sport Medicine Vienna 1982

Urban & Schwarzenberg Verlag, Wien-Baltimore-München 1984, 560-575

NOWACKI P.E.:

Unterschiede und Entwicklungen der maximalen biologischen Leistungsfähigkeit sport- und nichtsporttreibender Kinder und Jugendlicher.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sportmedizin – Kursbestimmung.

Kongressband 30. Deutscher Sportärztekongress Kiel 1986

Springer Verlag, Berlin-Hamburg-New York-London-Paris-Tokyo 1987, 75-84

NOWACKI P.E.:

Stellenwert der maximalen Sauerstoffschuld im Rahmen der qualitativen und quantitativen Diagnostik der anaeroben Kapazität.

In: Bachl N., P. Baumgart, G. Huber, J. Keul (Hrsg):

Die trainingsphysiologische und klinische Bedeutung der anaeroben Kapazität.

ATKL-Kongress, St Johann in Tirol

Brüder Hollinek, Wien 1987, 67-78

NOWACKI P.E., D.Y. CAI, C. BUHL, U. KRÜMMELBEIN:

Biological performance of German soccer players (Professional and Juniors) tested by special ergometry and treadmill methods.

In: Reilly T., A. Lees, K. Davids, W.J. Murphy (Eds.):

Science and Football.

E. & F.N. Spon, London-New York 1988, 145-157

NOWACKI P.E., I. SCHULZE, N.S. NOWACKI:

Längsschnittuntersuchungen zur biologischen Entwicklung von Skilangläufern (-läuferinnen) vom Schul- bis zum Erwachsenenalter - eine kritische 10-Jahres-Studie.

In: Bernett P., D. Jeschke (Hrsg.):

Sport und Medizin. Pro und Contra.

Kongressband 32. Deutscher Sportärztekongress München 1990

Zuckschwerdt Verlag, München 1991, 629-634

NOWACKI P.E.:

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik

In: Eberspächer H. (Hrsg.):

Handlexikon Sportwissenschaft.

Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek, 1.Auflage, 1987, 237-246

Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek, 2.Auflage, 1992, 237-246

NOWACKI P.E.:

Trainingssteuerung.

In: Eberspächer H. (Hrsg.):

Handlexikon Sportwissenschaft.

Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek, 1.Auflage, 1987, 504-507

Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek, 2.Auflage, 1992, 504-507

NOWACKI P.E.:

Festschrift. 75 Jahre Sportmedizin an der Universität Gießen, 35 Jahre erlebte und gestaltete Sportmedizin.

Rank Xerox, Dresden 1994, 1-306

NOWACKI P.E., H. KELLER, H.J. MEDAU, N.S. NOWACKI, J. SCHÖLL:

Maximal Oxygen pulse in relation to age, gender, kind of sport und training.

In :Ribeiro B. (Eds.):

9th European Congress of Sports Medicine

Program and Abstract Book, 23-26.September 1997

Seminário de Vilar Porto, Portugal 1997, 43

NOWACKI P.E., H. KELLER, M.F. MOHAMMED, N.S. NOWACKI:

Biological development and physiological performance of german soccer players from F-youth (6.0 - 7.9 years) to senior league.

FIFTH IOC World Congress Sydney, Australia

31st October-5th November 1999

Book of Abstracts 1999, p 13

NOWACKI P.E., K-H. ARNDT:

37. Deutscher Kongress für Sportmedizin und Prävention – Prävention durch Bewegung und Sport.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 52 (Abstractband), 2001, 3-122

NOWACKI P.E., K-H. ARNDT:

37th German Congress of Sports Medicine and Prevention.
Int Sport Med 23, Suppl. S2, 2002, 51-172

PETTENKOFER M., VOIT C.:

Untersuchungen über den Sauerstoffverbrauch des normalen Menschen.
Zschr. Biol. 2, 1866, 459

PREUHS M.:

Die Bedeutung des sportartspezifischen Ausdauertrainings für die aerobe und anaerobe Kapazität von Fußballspielern.
Inaug. Diss. (Dr. med.), Justus-Liebig-Universität Gießen, 1990, 1-160

PRINZ J.P.:

Die experimentelle Methode der ersten Gasstoffwechseluntersuchungen am ruhenden und quantifiziert belasteten Menschen (Lavoisier AL, Seguin A, 1970).
Versuch einer kritischen Deutung.
Inaug. Diss. (Dr. med.), Universität Köln, 1992

PROKOP L.:

Einführung in die Sportmedizin.
Fischer Verlag, Stuttgart-New York 1979

PROKOP L.:

Kinder-Sportmedizin.
Fischer Verlag, Stuttgart-New York 1986

PROUT W.:

On the quantity of carbonic acid gas emitted from the lungs during respiration, at different times, and under different circumstances.
Annals of Philosophy 2/5, 1813, 328

PU J.:

Untersuchungen der maximale Sauerstoffaufnahme.
VR China Z.Sportmed.7, 1988, 120-125

PUGH L.:

Athletes at altitude.
J. Physiol. 192, 1967, 619-646.

QIU M.:

Sportmedizin
VR China, Beijing 1982

RAINER K., S. SILBERNAGL:

Lehrbuch der Physiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York 1994

REIFSCHNEIDER E.:

Sportmedizinisches Leistungsprofil von Eiskunstläufern und Eiskunstläuferinnen der nationalen Spitzenklasse.
Inaug. Diss. (Dr.med.), Justus-Liebig-Universität Gießen 1984, 1-98

REIN H.:

Physiologie des Menschen
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 10. Auflage 1949

REINDELL H.:

Der Einfluss des Trainings auf den Organismus.
Der Rudersport, Lehrbeilage 1, 1962, I-V

REINDELL H., K. KÖNIG, H. ROSKAMM:

Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1967

RIECKERT H., H. HINNEBERG, W. SCHNIZER:

Maximale Sauerstoffaufnahme und periphere Durchblutungsantwort auf verschiedene Ergometerbelastungen beim Jugendlichen.

Sportarzt u. Sportmed. 27, 1976, 60-65, 89-91

RIECKERT H.:

Kreislauf.

In: Eberspächer H. (Hrsg.):

Handlexikon Sportwissenschaft.

Rowohlt, Reinbek 1992, 201-218

ROBERGS R.A., R. QUINTANA, D.L. PARKER, C.C. FRANKEL:

Multiple variables explain the variability in the decrement in VO_2 max during acute hypobaric hypoxia.

Med. Sci. Sports exerc.30, 1998, 869-879

ROBINSON S.:

Experimental studies of physical fitness in relation to age.

Arbeitsphysiologie 10, 1938, 251-327

ROSKAMM H.:

Funktionsprüfung von Herz und Kreislauf.

Kurzmonographie Sandoz 2, 1971, 1-40

ROST R.:

Hochleistung im Kindes- und Jugendalter aus kardiologischer Sicht.

In: Rieckert H. (Hrsg.):

Sport an der Grenze der menschlichen Leistungsfähigkeit.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo 1981, 27-37

ROST R., W. HOLLMANN, H. HECK, H. LIESEN, A. MADER:

Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York 1982

SALTIN B., P.O. ÅSTRAND:

Maximal oxygen uptake in athletes.

Eur.J.Appl.Physiol.23, 1967, 353-358

SAWELLION D.:

Körperliches, kardiozirkulatorisches, kardiorespiratorisches und metabolisches Leistungsvermögen von Kunstturnern im Vergleich zu anderen Sportarten.

Inaug. Diss. (Dr. phil.), Justus-Liebig-Universität Gießen 2001, 1-166

SCHMIDT R.F., G. THEWS:

Physiologie des Menschen.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 26 Auflage 1995

SCHNABL A., W. KINDERMANN, M. SCHMITT:

Aerobe Kapazität von Fußballspielern unterschiedlicher Spielstärke.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 32, 1981, 120-127

SCHNORR R.P, R.G. BERTZEL, H.-J. MEDAU, P.E. NOWACKI:

Neuroendokrine und sympathico-adrenerge Hormonregulation bei verschiedenen Sportarten.

In: Medau H.J., P. Röthig, P.E. Nowacki (Hrsg.):

Ganzheitlichkeit. Beiträge in Sport und Gymnastik. Sportwissenschaftliche und sportmedizinische Aspekte.

Karl Hofmann Verlag, Schorndorf 1996, 168-191

SCHÖLL J.:

Der Sauerstoffpuls als sportmedizinische Leistungsgröße.

Inaug: Diss. (Dr. med.), Justus-Liebig-Universität Gießen 1995, 1-62

SCHULZ H.:

Sportmedizinisches Leistungsprofil des Schüler- und Jugendvereinsfußballs (F- bis A-Jugend, 6-18 Jahre) im Vergleich zu untrainierten Schülern aus anderen Sportarten.

Inaug: Diss. (Dr. phil.), Justus-Liebig-Universität Gießen 1994, 1-130

SEGUIN A., A.L. LAVOISIER:

Premier Mémoire sur la respiration des animaux.

In: Dumas JBA (éd.):

Œuvres de Lavoisier

Mémoires de Chimie et de Physique.

Imprimerie Impériale, Paris 1862, 688

SIRSCH C.:

Vergleichende allgemeine und sportartspezifische Laboruntersuchungen über die kardio-respiratorische und metabolische Leistungsfähigkeit von Ruderern.

Wiss. Hausarbeit (Sportmedizin / Sportwissenschaft), Justus-Liebig-Universität Gießen 1994, 1-63

SJÖSTRAND T.:

Clinical physiology.

Svenska Bokforlaget, Stockholm 1967

SMITH E.:

Experimental inquiries into the chemical and other phenomena of respiration and their modifications by various physical agencies.

Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1859, 149-681

SMODLAKA V.N.:

Use of the internal work capacity test in the evaluation of severely disabled patients.

J. Chron. Diseases 25, 1972, 345-352

SMODLAKA V.N.:

Cardiovascular Aspects of soccer.

The physician and sportmedicine 6, 1978, 66-70

SMODLAKA V.N., H.MELLEROWICZ, J.HORAK:

Revidierte Standardisierungsverschlge für Ergometrie 1981.

(Minimal- und Kompromissprogramm der Arbeitsgruppe für Ergometrie) ICSPE.

In: Mellerowicz H., J.W.Franz (Hrsg.):

Standardisierung, Kalibrierung und Methodik in der Ergometrie.

Perimed, Erlangen 1983, 280

SOMMER H.M.:

Muskuläre Ungleichgewichte im Bereich der unteren Extremitäten als Ursache für Leistungsverlust und Überbelastung.

In: Jeschke D. (Hrsg.):

Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaft.

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo 1984, 440-444

SPECK C.:

Physiologie des menschlichen Athmens nach eigenen Untersuchungen.

FCW Vogel, Leipzig 1892

SZGY A., D. BÖHMER, P. AMBRUS, B. LINZBACH:

Fahrradergometrische Bestimmungen der anaeroben Kapazität bei jugendlichen Bahn-, Straßen- und Querfeldeinradrennfahrern.

Therapiewoche, 34, 25, 1984, 3868-3870

TIGERSTEDT R.:

Respirationsapparate.

Handbuch der physiologischen Methodik, Band 1

Hirzel, Leipzig 1911

TINIAKOS G.A.:

Körperliche, kardiozirkulatorische und metabolische Leistungsfähigkeit von zypriotischen AthletenInnen verschiedener Sportarten im Vergleich zu deutschen Sportlern.

Inaug: Diss. (Dr. phil.), Justus-Liebig-Universität Gießen 2001, 1-264

TITTEL K.:

Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen.

Urban & Fischer Verlag, Stuttgart-New York, 13. Auflage 2000

UHLENBRUCK P.:

Über die Wirksamkeit der Sauerstoffatmung.

Zschr. ges. exper Med. 74, 1930, 1

ULMER H.-V.:

Zur Methodik, Standardisierung und Auswertung von Tests für die Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Schriftenreihe Medizin 1.

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln. Löwenich 1975, 1-93

ULMER H.-V., R. SCHNEIDER, K. KRÄMER:

Talentsuche für Ausdauersportarten auf der Basis trainingsabhängiger und trainingsunabhängiger leistungsbestimmender Merkmale.

Sportarzt und Sportmedizin 28, 1977, 69-72

VALENTIN H., H. VENRATH, H. MALLINCKRODT, M. GÜRAKAR:

Die Maximale Sauerstoffaufnahme in den verschiedenen Altersklassen.

Eine praktisch wichtige Herz-Kreislauf-Funktionsprüfung im Vita-Maxima-Bereich.

Zschr. Altersforschg 9, 1955, 291-309

VATER H. –H.:

Quantitative und qualitative Untersuchungen zur Schwungsteuerung bei Kurzschwüngen im alpinen Skilauf.

Inaug. Diss. (Dr. sportwiss.) Deutsche Sporthochschule, Köln 1992.

VATER H. –H.:

Kardiorespiratorische und metabolische Kenngrößen bei Alpinen Skiläufern während erschöpfender Spiroergometrie, maximaler Schnelligkeitsausdauerbelastung und skispezifischem Winkelsprungtest.

Inaug. Diss. (Dr.med.), Justus-Liebig-Universität Gießen 2003, 1-215

WAGENMÄKER A.:

The perfect match between demand and ATP Production, old and new mechanism.

In: ECSS Cologne, Perspectives and Profiles

15th Congress of the German Society of Sport Science

6th Annual Congress of the European College of Sport Science

Cologne 24. - 28. 07. 2001, Book of abstracts.

Mester J., G. King, H. Stüder, E. Tsolakidis, A. Osterburg:

Sport und Buch Straus GmbH, Köln 2001, 29

WAHLUND H.:

Determination of the physical working capacity.

A physiological and clinical study with special reference to standardization of cardiopulmonary functional tests.

Acta med. Scand. Suppl. 132, 1948, 5-78

WASMUND U., P.E. NOWACKI:

Untersuchungen über Laktatkonzentrationen im Kindesalter bei verschiedenen Belastungsformen.

Dtsch. Zschr. f. Sportmed. 29, 1978, 66-75

WASSERMAN K., M.B. MCILROY:

Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise.

Amer. J. Cardiol. 14, 1964, 844

WILLIMCZIK K.:

Statistik im Sport

Czwalina Verlag, Hamburg 1999

ZHAO Z.:

Qualitative und quantitative kardiorespiratorische Reaktionen bei Trainierten in Abhängigkeit von international standardisierten fahrradspiroergometrischen Belastungsverfahren im Sitzen.

Experimentelle Studien am Lehrstuhl für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen (Betreuer: Univ.- Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki).

Inaug. Diss. (Dr. med.), Johannes-Gutenberg-Universität Mainz 1995, 1-186

8. ANHANG

Justus - Liebig - Universität Gießen - FB 06 Psychologie und Sportwissenschaft

Institut für Sportwissenschaft / Zentrum für Innere Medizin / Lehrstuhl für Sportmedizin

Inaugural Dissertation - Experimentelle Studie: Yaser Elgohari, Universität Elmonofia, Ägypten

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki

Quantitative und qualitative corporale, kardiozirkulatorische, kardiorespiratorische und metabolische Reaktionen von Männern bei / nach erschöpfenden Spiroergometrien in Abhängigkeit vom Trainingszustand, der Sportart sowie unterschiedlichen Belastungsmethoden

Sportmedizinische Leistungsdiagnostik - Spiroergometrie - Methode:

Name: _____ Vorname: _____ Geb: _____ Sportart : _____
Gewicht: _____ kg Größe _____ cm Alter: _____ J Datum/Ort : _____

Körperliche Leistungsfähigkeit			
Max absolute Wattstufe: _____ Watt		Gesamtarbeit: _____ Wattmin	
Max relative Wattstufe: _____ Watt • kg ⁻¹		Gesamtarbeit, aerobe: _____ Wattmin %	
Belastungszeit: _____ min		Gesamtarbeit, anaerobe: _____ Wattmin %	
PWC ₁₇₀ : _____ Watt		Laktat : _____ mmol/l VRQ: _____	
Kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit			
Hf _{Vorstart} : _____ min ⁻¹	Hf _{submax} : _____ min ⁻¹	Hf _{max} : _____ min ⁻¹	Hf _{E5} : _____ min ⁻¹
LPS: _____ min ⁻¹		EPS: _____ min ⁻¹	
RR _{Vorstart} : _____ mmHg	RR _{submax} : _____ mmHg	RR _{max} : _____ mmHg	RR _{E5} : _____ mmHg
Kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit			
Vitalkapazität: _____ l		Erschöpfung AÄ: _____	
1-Sekunden Kapazität: _____ %		MaxAÄ: _____	
Ruhe AMV: _____ l BTPS		Ruhe VO ₂ : _____ ml • min ⁻¹ STPD	
Vorstart AMV: _____ l BTPS		Vorstart VO ₂ : _____ ml • min ⁻¹ STPD	
Max AMV: _____ l BTPS		Max VO ₂ : _____ ml	
AZV bei Max AMV: _____ ml BTPS		VO ₂ max • kg ⁻¹ • min ⁻¹ : _____ ml STPD	
AF bei Max AMV: _____ min ⁻¹		Max VO ₂ /Hf: _____ ml STPD	
Gesamt-Atmung Leistungsphase: _____ l BTPS		Gesamt VO ₂ Leistungsphase: _____ l STPD	
Mehr-Atmung Leistungsphase: _____ l BTPS		Mehr VO ₂ Leistungsphase: _____ l STPD	
Aerober Anteil: _____ l BTPS %		Mehr VO ₂ 5 min Erholung: _____ l STPD	
Anaerober Anteil: _____ l BTPS %		Gesamt O ₂ -Schuld: _____ l STPD	
Mehr-Atmung 5 min Erholung: _____ l BTPS		Ruhe VCO ₂ : _____ ml • min ⁻¹ STPD	
Vorstart VRQ: _____		Vorstart VCO ₂ : _____ ml • min ⁻¹ STPD	
Erschöpfung VRQ: _____		Gesamt VCO ₂ Leistungsphase: _____ l STPD	
Max VRQ: _____		Mehr VCO ₂ Leistungsphase: _____ l STPD	
Vorstart AÄ: _____		Mehr VCO ₂ 5 min Erholung: _____ l STPD	
Metabolische Leistungsfähigkeit			
Laktat _{Vorstart} : _____ mmol/l		Laktat _{Erschöpfung} : _____ mmol/l	
Laktat _{submax} : _____ mmol/l		Laktat _{max} : _____ mmol/l	

Lebenslauf

Name: Yaser Mahfouz Atwa Saad Elgohari

Geburtsdatum: 14. 12. 1969

Geburtsort: Zagazig / Ägypten

Familienstand: verheiratet mit Hanaa Ali, 2 Töchter Rim und Rana

Staatsangehörigkeit: Ägyptisch

Schulbildung:

1975 – 1981 Grundschule Zagazig / Ägypten

1981 – 1984 Realschule Zagazig / Ägypten

1984 – 1987 Gymnasium Zagazig / Ägypten

Studium:

1987 – 1991 Studium der Sportwissenschaft
Universität Zagazig / Ägypten

1993 – 1995 Weiterbestudium
Universität Zagazig / Ägypten

1995 – 1997 Magisterprüfung (M.A. – Trainingswissenschaft)
Universität Zagazig / Ägypten

Seit WS / 1999 Promotionsstudium
Stipendiat der Ägyptischen Regierung
Justus – Liebig – Universität Gießen / Deutschland

Wissenschaftliche Tätigkeit:

1991 – 1995 Sportlehrer, Zagazig / Ägypten

1995 – 1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Sportwissenschaft
Universität Menofia / Ägypten

Seit dem WS 1999 / 2000 Gastwissenschaftler / Doktorand
Institut für Sportwissenschaft
des FB 06 Psychologie und Sportwissenschaft
Lehrstuhl für Sportmedizin
Justus – Liebig – Universität Gießen / Deutschland

Danksagung

Für die freundliche Überlassung des Themas der vorliegenden Dissertation und die engagierte Betreuung während der Erstellung dieser Arbeit möchte ich dem Leiter des Lehrstuhls für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, Herrn Univ.- Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki, herzlich danken.

Ferner danke ich dem Untersuchungsteam des Lehrstuhls für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, ohne deren tatkräftige Unterstützung die umfangreichen praktischen Untersuchungen nicht möglich gewesen wären.

Dabei gilt mein besonderer Dank der Medizinisch Technischen Assistentin (MTA), Frau Ursula Dittrich, der Sportmedizinischen Funktionsassistentin, Frau Doralies Nowacki, und der Doktorandin, Frau Ning Wu M.A.

Der Chefsekretärin, Frau Rotraud Klein, danke ich für wertvolle Hinweise bei der Abfassung meiner Dissertation in Deutsch.

Darüber hinaus danke ich der Fa. Erich Jaeger, Würzburg / Hoechberg, sowie dem Techniker und Vertriebsleiter Nord, Herrn Reimund Holthaus, für die Bereitstellung und die Einweisung zur Bedienung des zur Zeit modernsten Messplatzes Oxycon zur kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik der Athleten 2002.

Weiterhin danke ich meiner Familie, die immer hinter mir stand.

Gießen, den 10. September 2003

Yaser Elgohari

Erklärung

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Yaser Mahfouz Atwa Saad ELGOHARI